



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Evaluación de parámetros que condicionan el crecimiento biológico en canales de hormigón

Autor:

Albert Cruz Biel

Dirigido por:

Ignacio Segura Pérez

Antonio Aguado de Cea

Grado en:

Ingeniería de Obras Públicas

Barcelona, **Junio 2016**

Departamento de Ingeniería de la Construcción

TREBALL FINAL DE GRAU

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a los profesores Antonio Aguado e Ignacio Seguro por haber sido mis tutores en este trabajo. Muchas gracias por la paciencia y dedicación que me han dedicado, y por enseñarme a realizar un documento científico de estas dimensiones. También agradecer la oportunidad de poder ver alguna de las actuaciones que se han realizado y poder ver la operativa que se realiza en este tipo de ensayos.

También quiero agradecer a Víctor Cugat por su amabilidad y predisposición para ayudar a entender mejor el trabajo realizado. También por todas las explicaciones dadas en la visita de campo para comprender mejor que y por qué se estaba haciendo cada cosa en cada momento.

Mis agradecimientos a todos los amigos y compañeros que me ayudaron en aquellos momentos de dificultad en el trabajo. En especial a Guillermo Briongos por ayudar con el modelo del HEC-RAS, a Cristina Almirall y Montse Prades por ofrecerse y ayudarme siempre que lo he requerido.

Por último muchas gracias a mi familia, padres, hermana y abuelos, por el apoyo moral recibido y por intentar siempre ser optimistas y ver el lado bueno de las cosas en momentos de frustración. A todos ellos, toda mi gratitud.

Resumen

El presente trabajo contiene en términos generales, un resumen y actualización de los resultados de las actuaciones realizadas por Víctor Cugat Martí en 2015 en los canales de Gavet de la Conca y de la derecha del Ebro. En ellos se aplicó un tratamiento inhibidor para mitigar el crecimiento de algas y mejorar el rendimiento del canal.

Dado que el resultado es satisfactorio en uno de ellos pero en el otro no, se ha realizado una evaluación de la afectación de los distintos parámetros que afectan a un canal, tanto sea a nivel de infraestructura, como a nivel de las aguas que circulan en él. A partir de la evaluación de los parámetros, se ha realizado una comparativa entre dos canales para poder entender dicha diferencia de rendimiento.

Los parámetros se han dividido en físicos y en químicos, siendo los físicos la temperatura ambiente, el pendiente, sección y la rugosidad del canal y la velocidad del agua que circula en ellos. En ellos se ve cómo afecta cada uno de éstos parámetros al crecimiento de las algas.

Los parámetros químicos son: el pH, los macronutrientes y los micronutrientes. En este trabajo se estudia la afectación de cada uno de ellos en el crecimiento biológico. Una vez estudiados todos los parámetros se comparan entre los dos canales para poder identificar, cuáles son los parámetros que afectan más al crecimiento de las algas y que el tratamiento inhibidor no ha podido mitigar.

Por último, sabiendo cuáles son los parámetros físicos que afectan al crecimiento biológico, se darán unas recomendaciones constructivas para poder evitar o disminuir en la medida de lo posible, el crecimiento de algas en las paredes de los canales de hormigón.

Abstract

This project contains, in general terms, a summary and an update of the results of the actions taken by Victor Cugat Martí in 2015 in the channels of “Gavet de la Conca” and the “canal de la derecha Ebro”. In these channels an inhibitor treatment was applied to mitigate algae growth and improve the channel performance.

Since the result is satisfactory in one of them but not the other, an assessment of the involvement of the different parameters affecting the channels has been made, either the infrastructure or the quality of the water circulating in a channel. Based on the evaluation of the parameters a comparison has been made between two channels in order to understand this difference in performance.

The parameters have been divided into physical and chemical, physical being room temperature, the cross section and roughness of the channel and the velocity of water flowing in them. In them is visible how it affects each of these parameters to the growth of algae.

The physical parameters are: pH, macronutrients and micronutrients. In this final project dissertation the involvement of each in the biological growth is studied. Once these parameters are studied and compared between the two channels to identify what are the parameters that most affect the growth of algae and inhibitor treatment has not been eliminate.

Finally, knowing what physical parameters affect the biological growth, some constructive recommendations will be given to prevent or reduce, as far as possible the growth of algae on the walls of concrete channels will be given.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	i
Abstract.....	iii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. RAZON DE SER.....	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivos generales.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO	7
2.1. INTRODUCCIÓN	7
2.2. COLONIZACIÓN Y BIODETERIORO DEL HORMIGÓN	9
2.2.1. Principales microorganismos que crecen en el hormigón	10
2.2.2. Factores favorables para el crecimiento de algas en el hormigón	12
2.2.3. Proceso de crecimiento de las algas y deterioro del hormigón.....	13
2.3. MÉTODOS FÍSICOS	15
2.3.1. Desbroce manual	15
2.3.2. Recubrimientos.....	17
2.3.3. Mallas o telas reductoras de luz natural.....	19
2.3.4. Campos eléctricos.....	20
2.3.5. Uso de ultrasonidos	21
2.3.6. Uso de rayos ultravioleta	21
2.4. MÉTODOS QUÍMICOS	22

Evaluación de parámetros que condicionan el crecimiento biológico en canales de hormigón

5.2. DIFERENCIAS EN EL pH	90
5.3. AFECTACIÓN DE LOS NUTRIENTES	93
5.4. AFECTACIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES	94
5.4.1. Carbono.....	94
5.4.2. Oxígeno.....	98
5.4.3. Nitrógeno	103
5.4.4. Fósforo	106
5.4.5. Azufre	110
5.4.6. Magnesio.....	112
5.4.7. Calcio.....	113
5.5. AFECTACIÓN DE LOS MICRONUTRIENTES	115
5.6. CONCLUSIONES	119
CAPÍTULO 6: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES Y RECOMENDACIONES	121
6.1. INTRODUCCIÓN	121
6.2. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS	122
6.3. RECOMENDACIONES.....	145
6.4. CONCLUSIONES	147
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	149
7.1. INTRODUCCIÓN	149
7.2. CONCLUSIONES GENERALES.....	150
7.2.1. Conclusiones generales.....	150
7.2.2. Conclusiones específicas	150
7.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	151
CAPÍTULO 8: REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	153
ANEJO I 159	

GLOSARIO	159
----------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Gráfico de la evolución de la temperatura desde 1880 (www.climaticocambio.com).....	3
Figura 2.1. Muestra de hongos en el hormigón	14
Figura 2.2. Paredes del canal de Gavet de la Conca (Trempe)	142
Figura 2.3. Proceso de adhesión del biofilm.(Gilbert et al., 2003).....	14
Figura 2.4. Proceso de limpieza de un canal con maquinaria (http://www.agua.gob.ec)	16
Figura 2.5. Proceso de limpieza manual en un canal (http://www.monteria-cordoba.gov.co)	17
Figura 2.6. Grados de hidrofobicidad (http://www.bdnanotech.com/).....	188
Figura 2.7. Aplicación de mortero impermeabilizante (http://www.construmatica.com).....	199
Figura 3.1. Diagrama de flujo de los ensayos de laboratorio, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)	403
Figura 3.2. Situación geográfica de Gavet de la Conca (Cugat Martí 2015).....	406
Figura 3.3. Canal de Gavet de la Conca vacío antes de la limpieza	407
Figura 3.4. Situación geográfica de Sant Jaume d'Enveja (Cugat Martí 2015)	408
Figura 3.5. Limpieza del canal de Sant Jaume d'Enveja mediante tractor con brazo Herder (C.G.R. del Canal de la Derecha del Ebro)	408
Figura 3.6. Situación geográfica de los tramos experimentales en Gavet (Cugat Martí 2015).....	409
Figura 3.7. Acabados superficiales (Cugat Martí 2015), a) zona1 Masterseal 6100FX b) zona1 Masterseal 325 E, c) zona2 Masterseal 6100FX, d) zona2 Masterseal 325E	40
Figura 3.8. Crecimiento a los 10 meses de la actuación en la zona 1 (Cugat Martí 2015).....	40
Figura 3.9. Crecimiento a los 10 meses de la actuación en la zona 2 (Cugat Martí 2015).....	41
Figura 3.10. Crecimiento a los 24 meses de la actuación en la zona 2 (Cugat Martí 2015).....	42
Figura 3.11. Muestra de un bastidor pasado 1 mes del montaje	43

Figura 3.12. Muestra de un bastidor pasados 3 meses del montaje	44
Figura 3.13. Muestra de una probeta pasados 3 meses del montaje	44
Figura 3.14. Muestra de una probeta pasados 3 meses del montaje	445
Figura 3.15. Muestra de unas probetas con crecimiento de algas	45
Figura 3.16. Muestra de un bastidor pasado un año del montaje	46
Figura 3.17. Evolución en el tiempo del crecimiento biológico a) 26/03/2015 b) 03/06/2015 c) 25/09/2015 d) 16/03/2016	46
Figura 3.18. Limpieza del canal de la derecha del Ebro mediante agua a presión.....	47
Figura 3.19. Proceso de aplicación del aditivo a) muestra del aditivo inhibidor b) proceso de mezcla con el mortero c) proyección d) aplicación terminada.....	48
Figura 3.20. Segunda fase experimental en el canal de la derecha del Ebro.....	49
Figura 4.1. Gráfico de la evolución de las divisiones celulares por día según la temperatura y luminosidad (Sorokin y Krauss, (1962)).....	53
Figura 4.2. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua y del aire en el canal de Gavet	54
Figura 4.3. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua y del aire en el canal de Amposta	56
Figura 4.4. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua en los ríos.....	4857
Figura 4.5. Tabla de velocidades de sedimentación (Pérez Farrás, Luis E (2015)).....	59
Figura 4.6. Tamaño de los elementos químicos fundamentales para la formación de nutrientes	59
Figura 4.7. Imagen de un resalto hidráulico (Laboratorio de Ingeniería hidráulica UPCT)	61
Figura 4.8. Primera fase de sedimentación.....	61
Figura 4.9. Segunda fase de sedimentación.....	62
Figura 4.10. Secciones en el Canal de Gavet a) PK 1,300 b) PK 2,480 c) PK 2,700.....	62
Figura 4.11. Secciones en el Canal de la derecha del Ebro a) sección en Xerta b) sección en Amposta	63
Figura 4.12. Gráfico del número de Froude	4864
Figura 4.13. Clasificación de las curvas de remanso.....	64

Figura 4.14. Secciones con los datos de rugosidad de 0,012 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700.....	67
Figura 4.15. Lámina de agua para la rugosidad de 0,012 (curva de remanso tipo M).....	68
Figura 4.16. Secciones con los datos de rugosidad de 0,017 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700.....	68
Figura 4.17. Lámina de agua para la rugosidad de 0,017 (curva de remanso tipo M2).....	69
Figura 4.18. Secciones con los datos de rugosidad de 0,022 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700.....	69
Figura 4.19. Lámina de agua para la rugosidad de 0,022 (curva de remanso tipo M2).....	70
Figura 4.20. Secciones con los datos de rugosidad de 0,012 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta	71
Figura 4.21. Lámina de agua para la rugosidad de 0,012 (curva de remanso tipo M2).....	4872
Figura 4.22. Secciones con los datos de rugosidad de 0,017 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta	72
Figura 4.23. Lámina de agua para la rugosidad de 0,017 (curva de remanso tipo M).....	73
Figura 4.24. Secciones con los datos de rugosidad de 0,022 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta	73
Figura 4.25. Lámina de agua para la rugosidad de 0,022 (curva de remanso tipo M).....	74
Figura 4.26. Muestra de secciones de canales a) sección cuadrada b) sección trapezoidal	75
Figura 4.27. Sección PK 1,300 canal de Gavet de la Conca (Endesa)	76
Figura 4.28. Sección PK 2,480 canal de Gavet de la Conca (Endesa)	77
Figura 4.29. Sección PK 2,700 canal de Gavet de la Conca (Endesa)	4877
Figura 4.30. Evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y el calado	79
Figura 4.31. Evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y el calado	80
Figura 4.32. Evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y el calado	81

Figura 4.33. Sección Amposta (Colegio de ingenieros técnicos en topografía).....	81
Figura 4.34. Gráfico de la evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y fijando un calado.....	83
Figura 5.1. Gráfico de la tendencia de la temperatura del agua.	89
Figura 5.2. Gráfica comparativa del pH en los dos ríos	93
Figura 5.3. Gráfico de iones Carbonato.....	96
Figura 5.4. Gráfico de iones Bicarbonato.....	97
Figura 5.5. Reacción del dióxido de carbono gas con el agua.....	97
Figura.5.6. Gráfico comparativo de los valores de oxígeno en mg/L O ₂	100
Figura 5.7. Gráfico comparativo del porcentaje de saturación de oxígeno en % sat	101
Figura 5.8. Gráfico comparativo de los niveles de nitratos	105
Figura 5.9. Gráfico comparativo de los niveles de fosforo	108
Figura 5.10. Gráfico comparativo de los niveles de fosforo	110
Figura 5.11. Valores de los sulfatos	111
Figura 5.12. Comparación de la cantidad de magnesio en ambos ríos.....	113
Figura 5.13. Gráfico comparativo de los niveles de calcio	114
Figura 5.14. Comparativa entre los niveles de cloro	116
Figura 5.15. Comparativa entre los niveles de magnesio	117
Figura 5.16. Comparativa entre las conductividades eléctricas de ambos ríos	409
Figura 6.1. Valores de la Noguera Pallaresa en 2008 (402 algas).....	123
Figura 6.2. Valores de la Noguera Pallaresa en 2009 (489 algas).....	124
Figura 6.3. Valores del Ebro en 2008 (407 algas).....	125
Figura 6.4. Gráfico con los valores de Algas	126
Figura 6.5. Gráfico con los valores de Carbonatos	127
Figura 6.6. Gráfico con los valores de Biarbonatos	128
Figura 6.7. Gráfico con los valores de Calcio	129
Figura 6.8. Gráfico con los valores de los Cloruros	130
Figura 6.9. Gráfico con los valores de la conductividad a 20°C	131
Figura 6.10. Gráfico con los valores de la demanda química de oxígeno.....	133
Figura 6.11. Gráfico con los valores de los fosfatos	133

Figura 6.12. Gráfico con los valores de fosforo	134
Figura 6.13. Gráfico con los valores de magnesio	45
Figura 6.14. Gráfico con los valores de nitritos	136
Figura 6.15. Gráfico con los valores de nitratos.....	137
Figura 6.16. Gráfico con los valores de oxígeno disuelto	138
Figura 6.17. Gráfico con los valores de pH.....	48139
Figura 6.18. Gráfico con los valores de sodio	140
Figura 6.19. Gráfico con los valores de sulfatos	141
Figura 6.20. Gráfico con los valores de temperatura del agua	142
Figura 6.21. Gráfico comparativo de las velocidades con el caudal mínimo	48143
Figura 6.22. Gráfico comparativo de las velocidades con el caudal máximo	144
Figura 6.23. Comparación de secciones 1 a) Sección en el canal de Gavet de la Conca b) Sección en el canal de la derecha del Ebro	145
Figura 6.24. Comparación de secciones 2 a) Sección en el canal de Gavet de la Conca b) Sección en el canal de la derecha del Ebro	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de los métodos	9
Tabla 2.2. Valores característicos de cloro según pH.....	295
Tabla 2.3 . Resumen de los métodos	29
Tabla 3.1. Características del formulado PL-UV-H-2B, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)	34
Tabla 3.2. Características del formulado PL-UV-H-3B, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)	35
Tabla 3.3. Programación de evaluación prevista (Cugat Martí 2015).....	43
Tabla 4.1. Diferencias d temperatura del aire y del agua en el río Noguera Pallaresa... 54	
Tabla 4.2. Diferencias d temperatura del aire y del agua en el río Ebro	55
Tabla 4.3. Diferencias de temperatura del agua en los ríos	57
Tabla 4.4. Resultados de la aplicación del número de Froude	65
Tabla 4.5. Parámetros usados para la determinación de la lámina de agua en el canal de Gavet	66
Tabla 4.6. Parámetros usados para la determinación de la lámina de agua en el canal de la derecha del Ebro.....	71
Tabla 4.7. Datos de la sección en el PK 1,300	76
Tabla 4.8. Datos de la sección en el PK 2,480	77
Tabla 4.9. Datos de la sección en el PK 2,700	77
Tabla 4.10. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de Gavet de la Conca entre los PK 1,300 y 2,480	78
Tabla 4.11. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de Gavet de la Conca entre los PK 2,480 y 2,700	79
Tabla 4.12. Datos de la sección Xerta	81
Tabla 4.13. Datos de la sección Amposta.....	81
Tabla 4.14. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de la derecha del Ebro.....	82
Tabla 5.1. Familias de Algas (http://www.chebro.es/).....	87
Tabla 5.2. Cantidad y familias de Algas en Gerri de la sal	87
Tabla 5.3. Cantidad y familias de Algas en Sant Jaume d'Enveja	88

Tabla 5.4. Cantidad total de algas y temperatura en ambos ríos.	90
Tabla 5.5. Valores del pH en los dos ríos.....	92
Tabla 5.6. Nutrientes principales para el crecimiento de algas	93
Tabla 5.7. Valores de los niveles de Carbonatos existentes en los ríos.....	95
Tabla 5.8. Valores de los niveles de Bicarbonatos existentes en los ríos.....	96
Tabla 5.9. Datos de los valores de oxígeno disuelto en el agua	100
Tabla 5.10. Valores de los porcentajes de oxígeno disuelto.....	101
Tabla 5.11. Valores de la DBO.....	102
Tabla 5.12. Tabla de la cantidad de NO ₂ en los ríos.....	104
Tabla 5.13. Tabla de la cantidad de NO ₃ en los ríos.....	105
Tabla 5.14. Elementos para la eliminación del fosfato.....	107
Tabla 5.15. Valores de fosforo	108
Tabla 5.16. Valores de los fosfatos	109
Tabla 5.17. Valores de los sulfatos.....	111
Tabla 5.18. Valores de la cantidad de magnesio	112
Tabla 5.19. Valores de la cantidad de calcio	114
Tabla 5.20. Valores de la cantidad de cloro	116
Tabla 5.21. Valores de la cantidad de magnesio	117
Tabla 5.22. Valores de la conductividad eléctrica.....	118
Tabla 6.1. Valores de la Noguera Pallaresa en 2008.....	122
Tabla 6.2. Valores de la Noguera Pallaresa en 2009.....	123
Tabla 6.3. Valores del Ebro en 2008	124
Tabla 6.4. Valores de algas.....	126
Tabla 6.5. Valores de Carbonatos.....	126
Tabla 6.6. Valores de Biarbonatos.....	127
Tabla 6.7. Valores de Calcio	128
Tabla 6.8. Valores de los Cloruros	129
Tabla 6.9. Valores de la conductividad a 20°C.....	130
Tabla 6.10. Valores de la demanda química de oxígeno	131
Tabla 6.11. Valores de los fosfatos	132
Tabla 6.12. Valores del fosforo	133

Tabla 6.13. Valores de magnesio.....	134
Tabla 6.14. Valores de nitritos	135
Tabla 6.15. Valores de nitratos	136
Tabla 6.16. Valores del oxígeno disuelto	137
Tabla 6.17. Valores del pH.....	138
Tabla 6.18. Valores del sodio	139
Tabla 6.19. Valores de los sulfatos.....	140
Tabla 6.20. Valores de la temperatura del agua	142
Tabla 6.21. Valores de las velocidades con el caudal mínimo de agua.....	143
Tabla 6.22. Valores de las velocidades con el caudal máximo de agua.....	144
Tabla 6.23. Tabla resumen de la afectación de los parámetros estudiados	147

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Dado su bajo coste, buenas prestaciones y durabilidad, el hormigón es a día de hoy, el material más utilizado en construcción, tanto para edificación como para construcción de elementos estructurales. Su gran uso y versatilidad en construcción, ha provocado que este material se encuentre en todo tipo de lugares, indiferentemente de las condiciones atmosféricas y ambientales que se puedan tener.

En muchas ocasiones, las condiciones atmosféricas o de contorno a la que se ve sometido, provoca que este material sufra un deterioro importante, tanto deterioro físico como por agresión de elementos químicos o por degradación por elementos biológicos, llamado biodeterioro.

El biodeterioro son los procesos producidos principalmente por microorganismos, como algas, hongos y bacterias, que colonizan el material y realizan una degradación causa de su actividad biogénica. Aunque se estima que el porcentaje de deterioro debido a los microorganismos en los materiales está cerca del 30% (*Sand, 2001*). Debido a que el biodeterioro es difícil de separar de otros procesos de degradación por no ser continuo, éste no se ha tomado en suficiente consideración en el deterioro del hormigón (*Sanchez-Silva et al. 2008*).

En el momento en el que el hormigón está en contacto con el agua, la colonización del material por los microorganismos es mucho más favorable, como ocurre en los canales de riego o en las tuberías de transporte de aguas residuales. En esta clase de tuberías, debido al gran número de microorganismos existentes en las aguas residuales, se suelen encontrar una serie de reacciones que producen unos gases y ácidos que degradan las paredes interiores, este proceso se conoce como corrosión producida por ácido sulfúrico biogénico. Estos procesos de corrosión suelen comportar pérdidas que algunos autores han estimado que son del orden de billones de dólares al año (Hewayde et al. 2006; Hewayde et al. 2007).

En el caso de los canales, el tipo de microorganismo que genera más problemas funcionales son las algas. Las algas, con la suficiente cantidad de nutrientes y luz proliferan y se encuentran en abundancia en este tipo de infraestructuras. Estos organismos provocan problemas de colmatación, reducción de sección y por tanto de caudal, olores y gustos desagradables en el agua y otros inconvenientes que pueden afectar tanto a la salud de los consumidores como a la de las plantas en el supuesto de ser agua para regadío. Esto obliga a realizar operaciones de mantenimiento periódicas en las infraestructuras que conllevan unos costes económicos importantes.

Para tratar de solucionar estos problemas, se han desarrollado algunas soluciones, por ejemplo pinturas que consiguen retrasar el crecimiento biológico, pero siempre tratándose de soluciones que únicamente retrasan el crecimiento, sin llegar a desarrollar aún, una solución definitiva que elimine en su totalidad el crecimiento biológico. En el caso de los agentes biocidas existentes en el mercado como el cobre, sus problemas son: su corta durabilidad comparada con las edades de servicio del hormigón, sus elevados costes, que generalmente hacen que no sean soluciones económicamente viables y la toxicidad de éstos.

1.2. RAZON DE SER

El hecho de no existir un producto que inhiba totalmente el crecimiento biológico en el hormigón y con suficiente duración, genera unas pérdidas económicas importantes para las empresas o instituciones encargadas del mantenimiento y explotación de las infraestructuras involucradas.

En países donde el sistema de canalizaciones de agua es de gran importancia, como por ejemplo los Países Bajos, el problema del crecimiento de algas en las paredes de canales puede suponer grandes pérdidas económicas. Además, debido al aumento de las temperaturas debido al cambio climático en el que está involucrado el planeta, el crecimiento de algas puede ir en aumento.

Recientes estudios han demostrado que la temperatura el planeta ha ido en aumento en los últimos años. Tanto es así que un estudio de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) publicado el 22 de enero de 2013 afirma que 2012 fue el noveno año más caluroso desde 1880, siendo 2010 y 2005 los más calurosos.

La temperatura promedio en el año 2012 fue de alrededor de 14,6 grados Celsius, lo cual es 0,6 °C más caliente que la referencia que corresponde a mediados del siglo XX. Según el nuevo análisis, la temperatura global promedio ha aumentado 0,8 °C desde el año 1880. Este aumento se puede observar en la figura 1.2, resultado de un estudio de científicos Noruegos, entre ellos Caroline Leck, de la Universidad de Estocolmo que determinaron que el incremento de temperatura podría ser solamente de 1,9°C, valor menor al esperado.

Debido a que las algas necesitan de luz y calor para sintetizar los diferentes nutrientes, aumentos significativos de las temperaturas pueden provocar mayores proliferaciones de las actuales. Es importante ser conocedores de los daños y causados por el crecimiento de algas en las infraestructuras de transporte de aguas. Por tanto, en este trabajo se intentará determinar las diferencias de rendimiento en dos canales donde se aplicó el tratamiento inhibidor desarrollado por José María Vaquero (2013).

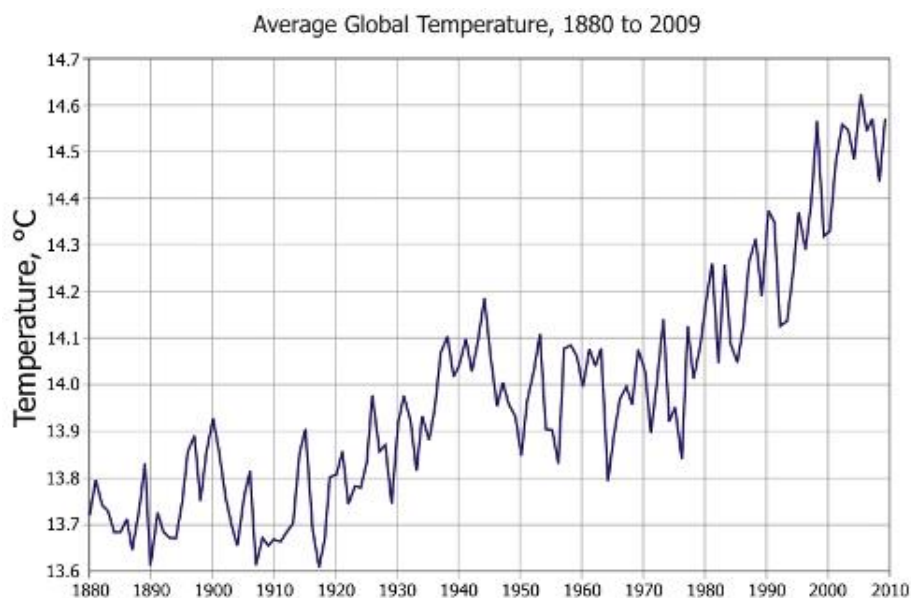


Figura 1.1. Evolución de la temperatura desde 1880 (www.climaticocambio.com)

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos generales

Los objetivos generales del presente trabajo son tres. El primero de ellos, mostrar los resultados obtenidos en las fases experimentales desarrolladas en el trabajo de Víctor Cugat Martí. Describir las diferentes actuaciones y actualizar los resultados obtenidos por él, con los obtenidos posteriormente a su trabajo.

El segundo de los objetivos generales es, evaluar y determinar las razones por las cuales el formulado biocida desarrollado en la tesis doctoral de José María Vaquero (2013) ha sido satisfactorio en uno de los canales aplicados y en el otro el resultado no lo ha sido tanto.

Las causas de la gran diferencia de crecimiento biológico en los dos canales, vendrán por las características que se encuentran tanto en el canal en sí, cómo en las aguas de los dos canales. Para poder encontrar estas diferencias se estudiarán distintos parámetros y se determinará cuáles de ellos son los responsables de que en uno de los dos canales el resultado haya sido positivo y en el otro no.

Los parámetros que se estudiarán y compararán para encontrar las diferencias entre los canales tienen tanto naturaleza física (características físicas y de construcción del propio canal y atmosféricas) como de naturaleza química (procedentes de las aguas).

El último de los objetivos del presente trabajo es dar unas recomendaciones de diseño y de construcción de canales para poder eliminar o menguar el crecimiento de algas y otros elementos biológicos como por ejemplo biofilm en canales.

1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Determinación de la afectación de la inclinación de los hastiales en el crecimiento biológico y de la sección del canal.
- Determinar que coeficientes de rugosidad (número de Manning), pendiente del canal y velocidad del agua favorecen más al crecimiento de algas en el hormigón.
- Determinar los rangos de temperatura más favorables para el crecimiento de las algas.

- Determinar que rango de pH del agua afecta y favorece más el crecimiento de algas.
- Determinar cuáles son los nutrientes que crean la diferencia de crecimiento de algas y conocer su función en el crecimiento de las mismas.

1.4. METODOLOGÍA

El trabajo se ha estructurado en siete capítulos. El **Capítulo 1**, el presente, corresponde a la introducción del trabajo, presentación de los antecedentes, la razón de ser del estudio, y se muestran los objetivos propuestos.

En el **Capítulo 2** se presenta una revisión del estado del conocimiento en relación al crecimiento de algas en el hormigón, viendo que factores facilitan la colonización de microorganismos y los procesos de biodeterioro en el material. Se termina con una revisión de los métodos utilizados hasta ahora para intentar solucionar los problemas de crecimiento de algas.

En el **Capítulo 3** se resume brevemente el proceso de formulación y resultados realizados por José María Vaquero (2013) y se resumen de forma detallada las actuaciones experimentales realizadas por Víctor Cugat Martí (2015) en dos canales de Cataluña, el Canal de Gavet y el Canal de la Derecha del Ebro.

En el **Capítulo 4** se la comparación de características geométricas y físicas existente en los dos canales donde se llevó a cabo la campaña experimental de Víctor Cugat Martí (2015).

En el **Capítulo 5** se analizan las aguas de los dos río, comparando los niveles de nutrientes y elementos químicos existentes en ambos ríos.

En el **Capítulo 6** se realiza un análisis parámetro a parámetro en las fechas dónde se contaron el número de algas a la par que se tomaron datos de los demás parámetros para determinar cuáles son los que producen la diferencia de eficacia en el tratamiento inhibitor. En este capítulo se añaden unas recomendaciones de construcción provenientes del análisis geométrico.

En el **Capítulo 7** se explican las conclusiones resultantes de los análisis de los parámetros y las futuras actuaciones que se deben realizar para poder acabar de determinar cómo aplicar el producto de forma que inhiba el crecimiento totalmente.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo incluye los procesos de crecimiento de microorganismos en el hormigón en los canales de estudio y la explicación de distintos métodos usados hasta ahora en la eliminación de las algas y en la prevención del crecimiento de las mismas. Los métodos que se explicarán son métodos usados tanto en ingeniería civil como métodos usados en otros campos donde se produce el fouling, Como por ejemplo eliminación de las algas en cascos de barcos, lagos, estanques, piscinas y otros lugares afectados por el crecimiento de algas.

El termino fouling es un término inglés que tiene por significado aquella acumulación no deseada de material en superficies sólidas en detrimento de su función. Los materiales pueden ser de carácter biológico (biofouling) o no biológico (orgánico o inorgánico).

Desde los inicios de la humanidad, la presencia del agua ha sido uno de los ejes más importantes para el desarrollo de cualquier asentamiento, ciudad o civilización. La importancia del agua para la vida tanto animal como vegetal ha hecho que incluso desde las más remotas civilizaciones se haya intentado manipular y transportar los caudales de agua para sacarles el máximo rendimiento en la agricultura, abastecimiento urbano etc.

Aunque existan indicios de civilizaciones anteriores a los romanos que construyeron canalizaciones de agua, se les considera los mayores expertos en este ámbito. Los primeros acueductos romanos eran subterráneos, hechos con cemento a prueba de agua y recubiertos por losas de piedra. Mantenían una inclinación constante y salvaban desniveles con grandes puentes de hasta tres arcadas de piedra, ladrillo o cemento.

Un ejemplo de ellos es el canal que llevaba el agua a Segovia, dónde quedan aún los restos de su acueducto. Ya desde entonces existía el problema del crecimiento de vegetación en los cementos que estaban entre los grandes bloques de piedra de los canales.

Desde su aparición, el hormigón se ha convertido en el gran material de la construcción. Este material se ha estudiado y se han creado normativas para su uso, entre todos los puntos de vista estudiados, la degradación por elementos biológicos no ha sido uno de estos y esto conlleva grandes problemáticas cuando este material esta en medios favorables para el fouling.

Gracias a los avances de la tecnología y las necesidades de eliminar las plantas que crecen en el agua, tanto en ingeniería civil como en otras disciplinas, se han creado distintas estrategias antifouling, pasando del arranque manual de las plantas o con medios de tracción, sean animales o maquinaria, con extensiones ya sean rastrillos u otros a métodos más sofisticados.

Este capítulo se dividirá en tres partes, en la primera parte se describirá la tipología de microorganismos que pueden presentar crecimiento, los factores que hacen posible el crecimiento biológico en el hormigón, el proceso de crecimiento de las algas y el deterioro que sufre el material. En la segunda parte se describirán métodos y técnicas de carácter físico usadas para evitar este crecimiento, en la última parte se describirán metodologías de carácter químico para evitar o eliminar el crecimiento microbiológico.

Como se ha dicho anteriormente, podemos clasificar los distintos métodos testados con anterioridad como: métodos de actuación física, siendo todos esos métodos que actúan a nivel de eliminar la planta arrancándola directamente o su destrucción sin usar compuestos químicos directamente ni afectar a la estructura molecular en el caso de la eliminación, y en el caso de la prevención, el uso de elementos aplicables físicamente en la superficie o elementos no químicos. Los métodos químicos serán aquellos que usen compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos. Tanto en la eliminación como en la prevención del crecimiento de las algas u otros tipos de microorganismos dañinos para el canal.

En la tabla 2.1. se presenta la clasificación que se ha dado a los distintos métodos, según si son físicos o químicos y una segunda subclasificación según su método de actuación dentro de la primera. También quedan reflejados los distintos métodos que se explicarán en los apartados siguientes.

Tabla 2.1. Clasificación de los métodos

Clasificación primaria	Clasificación secundaria	Método
Métodos físicos	Afecciones directas	Desbroce manual
		Recubrimientos
		Uso de telas o mallas reductoras de luz natural
	Afecciones indirectas	Campos eléctricos
		Uso de ultrasonidos
		Uso de rayos ultravioleta
Métodos químicos	Oxidación	Oxidación por bloques de paja de cebada
		Oxidación por cloro y derivados
		Oxidación con ozono
	No Oxidación	Eliminación por uso de cobre
		Uso de acroleína

2.2. COLONIZACIÓN Y BIODETERIORO DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material que debido a componentes como los hidróxidos de calcio, sodio y potasio que se forman durante la hidratación del cemento tiene un pH básico. Con el paso del tiempo, estas fases hidratadas reaccionan con el dióxido de carbono del entorno, haciendo disminuir ligeramente el pH, y convirtiéndolo en un material susceptible a la entrada y adhesión de microorganismos. Es entonces cuando el hormigón puede ser colonizado por microorganismos, ya el hormigón tiene una estructura porosa y con pequeñas fisuras, que permiten a los microorganismos adherirse y desarrollarse en ellas (Sánchez-Silva et al., 2008).

Entendiendo cómo colonización el proceso de adhesión y fijación en el entorno del material o en su propia estructura. La presencia de microorganismos en el hormigón se deberá a la presencia de su rugosidad y porosidad, a la composición química y a las condiciones ambientales en las que se encuentre (Gaylarde et al., 2003).

2.2.1. Principales microorganismos que crecen en el hormigón

Principalmente, en el hormigón encontramos bacterias, hongos y algas. Cada uno de estos elementos biológicos tiene una forma de interactuar con el hormigón distinta a los otros. A continuación se describirá brevemente la actuación de cada uno de ellos en el hormigón.

Bacterias

Las bacterias son microorganismos procariotas de tamaño entre 0,5 y 5 μm . Son los organismos más abundantes en la tierra, se encuentran en todos los medios terrestres y son capaces de sobrevivir a condiciones extremas (*Schlegel et al., 1992*).

En el hormigón que se encuentra en contacto con el agua, encontramos un tipo específico de bacteria, llamado cianobacteria. Las cianobacterias son capaces de realizar la denominada fotosíntesis oxigénica, mediante la cual reciben electrones del agua, y esta libera oxígeno a la atmósfera.

Usualmente, las bacterias se encuentran en las tuberías de hormigón de las aguas residuales, dado que el tiempo de reacción es largo, las bacterias convierten el azufre de los residuos en sulfuro de hidrógeno, las bacterias aerobias actúan sobre este gas y tras diversas transformaciones pasa a ácido sulfúrico, que se concentra en las paredes y degrada el hormigón. Este problema es un tema de interés general debido a su presencia alrededor del mundo y los grandes costes que acarrea.

Hongos

Los hongos, son grupos de organismos eucariotas entre los que se encuentran los mohos, levaduras y otros. Estos microorganismo presentan paredes celulares compuestas por quitina en lugar de celulosa. Estos organismos se encuentran en multitud de hábitats distintos, los hongos son los encargados de descomponer la materia muerta de plantas y animales (*Schlegel et al., 1992*).

En el caso de los hongos, su existencia en el hormigón puede ser causante de enfermedades, al ser un posible foco de contaminación en un material que está en contacto directo con el agua de consumo de las personas. En este caso los agentes microbiológicos no afectarían de forma significativa a las propiedades mecánicas del hormigón, aunque como se ve en la figura 2.1 afecta en la estética, dejando manchas en el hormigón.



Figura 2.1. Muestra de hongos en el hormigón

Algas

Las algas son una especie de microorganismo eucariota ya que disponen de un verdadero núcleo y además son seres fotótrofos, esto quiere decir que tienen la capacidad de utilizar los rayos solares como fuente de energía (*Lee, 2008*). Casi siempre viven en un medio acuático, aunque algunas pueden encontrarse en otras superficies u otras especies vegetales, siempre que haya humedad suficiente. Y estando a bajas profundidades bajo el agua, ya que necesitan de la luz solar para realizar la fotosíntesis.

Las algas causan varios efectos en el hormigón. Uno de ellos y que es preocupante para muchas asociaciones de regadío y otros que usan agua, es el de la pérdida de carga de agua viene dado por la pérdida de sección eficaz cuando aparecen algas y reduciendo el rendimiento hidráulico, además, la acción erosiva de las algas y las labores periódicas de limpieza en el canal generan un deterioro de las paredes. Otro gran problema asociado a canales de transporte agua para consumo humano es que las algas proveen las aguas de ciertos contaminantes poco adecuados para el ser humano. En la figura 2.2 se aprecia el crecimiento de algas en las paredes laterales del canal de Gavet de la Conca, en Tremp.



Figura 2.2. Paredes del canal de Gavet de la Conca (Trempe)

En los canales que estudiamos, el agente biológico que presenta más problemas tanto en el funcionamiento como en la calidad del agua son las algas. Por tanto el estudio se centrará en la inhibición del crecimiento de esta planta en el hormigón.

2.2.2. Factores favorables para el crecimiento de algas en el hormigón

Existen varias condiciones que favorecen el fouling en el hormigón. El conjunto de propiedades que tiene el hormigón, como por ejemplo la rugosidad, la porosidad, la composición química, la estructura del agua intersticial, etc., que contribuyen a la adhesión, anclaje y desarrollo de distintos organismos biológicos (*Guillitte y Dreesen, 1995; Tiano, 2002; Barberousse et al., 2006, 2007a*).

Por el lado del hormigón, un factor que es favorable a la adhesión y posterior crecimiento de los elementos biológicos en el hormigón, es la porosidad. Este parámetro depende de la granulometría de áridos que se usa en la fabricación del hormigón. En cuanto a la rugosidad que presenta el hormigón vendrá dado por los acabados de los paramentos, dependerá del tipo de encofrado que se use y el tipo de acabado que se le aplique.

La rugosidad afecta en gran medida al crecimiento biológico en el hormigón. En el año 2003 la Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro contactó con el “Observatori de l’aigua” (ahora “Institut de l’Aigua”) de la Universidad de Barcelona con el objetivo de realizar un informe respecto a cómo reducir la pérdida de transporte de agua de riego debido al excesivo crecimiento biológico de vegetación sobre sus paredes. Para realizar el estudio, se pusieron láminas con distintas rugosidades encima del hormigón y posteriormente se analizaron.

Se pusieron láminas lisas, rugosas y una lámina de hormigón. Los resultados que obtuvieron fueron que en las láminas más lisas, el crecimiento era mucho menor que en las láminas que presentaban rugosidad. Las láminas con más rugosidad presentaban un crecimiento semejante al que presentaba en el hormigón (*Blasi et al, 2004*).

Por el lado de los microorganismos, existen múltiples fuentes para su llegada hasta los distintos canales. Los microorganismos pueden estar presentes tanto en los componentes del hormigón como en el entorno. Según como estos lleguen al hormigón tendremos un tipo u otro de contaminación. Para el primer caso, cuando provienen de los distintos componentes, hablaremos de contaminación endógena, y para el segundo hablaremos de contaminación exógena (*Cugat Martí, 2015*).

Los factores endógenos o internos, provienen básicamente de los áridos y del agua usada. Para la fabricación de hormigón se emplean áridos rodados, procedentes de rocas machacadas, áridos siderúrgicos o reciclados. Los áridos provienen del suelo, donde existen gran cantidad de microorganismos agresivos para el hormigón. Aunque se pasen por procesos de limpieza y se les exija cierta calidad en su composición química, limpiarlos en su totalidad, es imposible.

Los factores exógenos o exteriores que hacen favorecer el crecimiento biológico en el hormigón pueden venir dados por las condiciones climáticas de la zona en que se encuentra (temperatura, luz solar, grado de CO₂ dado por la contaminación, etc.), por los nutrientes que se encuentran en el agua, tanto debido a actividad humana como animal y puede darse el caso de aportaciones biológicas en suspensión en el agua, restos de plantas o animales.

2.2.3. Proceso de crecimiento de las algas y deterioro del hormigón

El hecho de que se dé fouling en el hormigón, significa inevitablemente que el material sufrirá cierta degradación de sus propiedades mecánicas y por consiguiente un deterioro de las funciones para el cual fue proyectada la estructura. Definimos el término biodeterioro como cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material causado por las actividades vitales de organismos y/o microorganismos pertenecientes a varios grupos sistemáticos (*Hueck, 1968*). Estos cambios pueden ser tanto un aumento de su porosidad o rugosidad, una decoloración, una pérdida de resistencia, un incremento de la absorción, etc., (*Warscheid et al. 1991*).

El proceso de crecimiento de las algas en el hormigón empieza con la formación de una pequeña película de agentes biológicos que llamamos biofilm o biopelícula. La formación del biofilm empieza por la creación de una película acondicionadora en la superficie del sustrato, en ella se acumulan nutrientes, iones y otros elementos. Una vez creada, los microorganismos se pueden adherir y empiezan a colonizar toda la superficie

y a crecer, generando la estructura del biofilm. Al final, este biofilm acaba siendo la base de crecimiento de los otros microorganismos.

En la figura 2.3 se muestra el proceso de creación del biofilm y la posterior adhesión de los microorganismos a este biofilm y por tanto al sustrato en cuestión. Se puede observar una colonización primaria de las partículas más simples, formando colonias que luego permiten la adhesión de otros microorganismos.

Los primeros organismos en colonizar sobre el biofilm son las bacterias, que facilitan la posterior adhesión de otros organismos. Una vez las bacterias se han adherido a la biopelícula, se van desarrollando monocapas de algas unidas al sustrato por pies mucilaginosos o retenidas en las irregularidades del sustrato, también se desarrollan tubos larvarios. Tanto la monocapa de algas como los tubos larvarios acaban formando una capa casi continua (Blasi *et al* 2004). Este biofilm ayuda a retener alimento y nutrientes, haciendo sobrevivir a las bacterias en ambientes hostiles produciendo un biodregadamiento en el hormigón (Costerton *et al.* 1987; Decho, 2000).

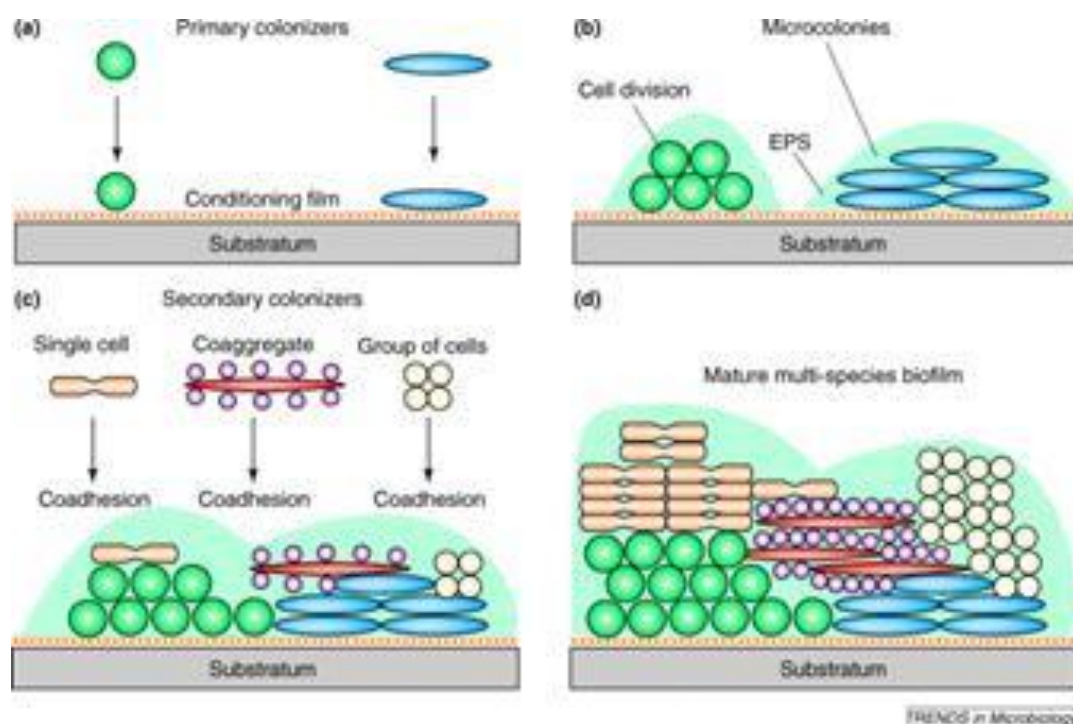


Figura 2.3. Proceso de adhesión del biofilm (Gilbert *et al.*, 2003)

A parte de la degradación que crea el biofilm, también encontramos el deterioro químico, que es aquel producido por las sustancias corrosivas producto de la actividad metabólica de los microorganismos presentes en el hormigón. Así pues es un ataque indirecto provocado por la acción química del metabolismo de los organismos. Hay dos tipos de biodegradación química: la asimilativa y la disimilativa.

La biodegradación química asimilativa es aquella que es producida por los microorganismos cuando usan componentes del mismo hormigón como nutrientes, por el contrario, la disimilativa usa componentes externos a éste.

El hecho de que el hormigón pueda ser deteriorado químicamente está asociado con el contenido de carbonatos y sulfatos, así como de la presencia de bacterias existentes (*De Muynck et al. 2009, Márquez P., 2015*).

2.3. MÉTODOS FÍSICOS

Como métodos físicos entendemos que son todos esos métodos que eliminan la planta sin cambiar ni afectar directamente a su estructura molecular. En este apartado se encuentran los métodos más usados en la limpieza de canales y por tanto, los métodos que se usaron en los dos canales que se comparan.

2.3.1. Desbroce manual

Como desbroce manual entendemos el hecho de arrancar con métodos manuales aquello que deseemos, en nuestro caso, los objetos a eliminar serán las algas y otros tipos de elementos biológicos como biofilm plasmalema y otros elementos biológicos.

Éste método consiste en arrancar con métodos manuales ya sea maquinaria como tractores equipados con rastrillos con púas metálicas o mediante operarios con herramientas manuales como azadas, rastrillos y cualquier otra herramienta los diferentes tipos de algas.

Éste método consiste en el arranque en sí del alga. Este método suele hacerse en paros en el uso del canal para que los operarios puedan entrar y realizar los trabajos, aunque, hay casos en los que el mantenimiento es constante y el canal se limpia con carga. En este caso, para el desbroce, se necesita adicionalmente caminos para que la maquina pueda pasar y en caso de hacer mantenimiento en paradas de uso, se requiere de equipos de elevación como grúas para poder bajar el equipo humano hasta la superficie inferior del canal.

A parte de que muchos canales no disponen de canales laterales para el paso de maquinaria y el coste de las máquinas elevadoras, hay otros factores que hacen de este método no sea adecuado. En la figura 2.4 se muestra el desbroce realizado por maquinaria desde dentro del canal, esta imagen corresponde a un canal en Portoviejo, en Ecuador (*secretaria del agua, Ecuador, n.d*). En la figura 2.5 se muestra unos operarios

realizando el mantenimiento de un canal en Montería, Colombia (*Alcaldía de Montería, Colombia, n.d*).

El arranque manual con elementos con púas metálicas produce en el pavimento de hormigón irregularidades y rugosidad añadida a la dada por el propio hormigón. Esto causa que sea un ciclo retroalimentado. Cuanta más rugosidad, más facilidad tienen las algas para crecer y cuantas más algas crecen, más veces se debe realizar el desbroce, siendo al final un método muy costoso a largo plazo y poco eficaz.

Como conclusión podemos decir que este método no es muy eficiente debido a la necesidad de uso de maquinaria y personal, por tanto a efectos económicos, el hecho de producir más rugosidad y convertirse en un método retroalimentado no es para nada, favorable, y tampoco es adecuado producir paros en el canal. Aunque el hecho de ser un método muy barato a corto plazo, hace que sea el método que más se usa actualmente en limpieza de canales.



Figura 2.4. Proceso de limpieza de un canal con maquinaria (<http://www.agua.gob.ec>)



Figura 2.5. Proceso de limpieza manual en un canal (<http://www.monteria-cordoba.gov.co>)

2.3.2. Recubrimientos

Superficies hidrofóbicas y superhidrofóbicas

El término hidrofobia proviene de los términos griegos hydro (agua) y fobos (temor), por tanto su significado literal es temor al agua. En términos fisicoquímicos son aquellas sustancias que no pueden mezclarse o son repelidas por el agua.

La hidrofobicidad se consigue con polímeros con tensión superficial inferior a la del agua. Cuanto menor es la tensión superficial del polímero, mayor el ángulo de contacto y por tanto mayor hidrofobicidad.

Una superficie se considera hidrofóbica cuando tiende a no absorber agua y mantiene un ángulo de contacto de 90° hasta 120° y se considera superhidrofóbica hasta aproximadamente 160° . En la figura 2.6 se muestran los diferentes ángulos y su consideración hidrofóbica.

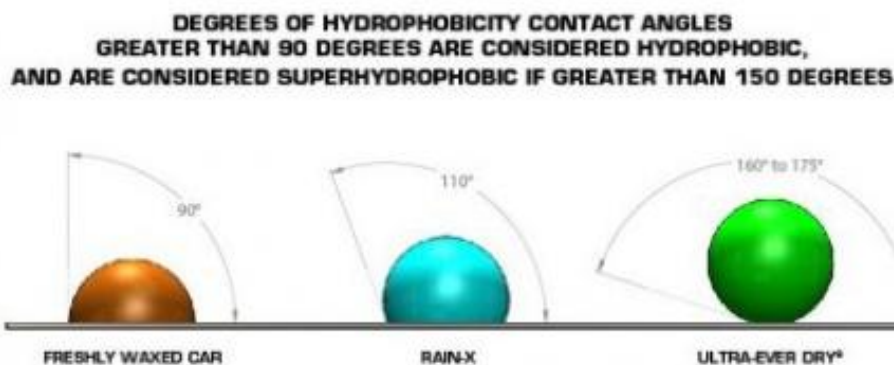


Figura.2.6. Grados de hidrofobicidad (<http://www.bdnanotech.com/>)

La repulsión al agua impide que se alojen bacterias, microorganismos, sales minerales, esto hace que aumente la durada del material y que no se adhieran microorganismos y como consecuencia, evita el crecimiento de las algas. Otra ventaja que tiene es que se evita la condensación del agua y por tanto en lugares de condiciones extremas en cuanto al frío, se evita la helada del canal. También se reduce la fricción debido a la condición de hidrofobicidad, y por tanto mejorar las condiciones hidrodinámicas, aunque para que este factor sea positivo, se debe haber tenido en cuenta a la hora de calcular el canal. Disminuir de forma brusca la rugosidad y por consiguiente el coeficiente de Manning, puede provocar que aparezcan situaciones inesperadas en cuanto a velocidades, y curvas de remanso.

En muchas ocasiones se empleen en herramientas médicas y quirúrgicas. La industria de textiles también usa estos tipos de recubrimientos hidrofóbicos en la elaboración de algodón repelente al agua. En caso de la obra civil, en especial en obras hidráulicas, se suele usar el RADCON F#7 (CEMTECH *n.d*).

Láminas

El uso de láminas de distintos materiales para recubrir el hormigón del canal fue probado por el “Observatori de l’aigua” (ahora “Institut de l’Aigua”) de la Universidad de Barcelona entre los años 2004 y 2005 en el canal llamado “tubo tonto”, siendo un canal de regadío del canal de la derecha del Ebro. Estas láminas reducen considerablemente la rugosidad del hormigón y por tanto el crecimiento vegetal.

Se ha visto que el uso de láminas lisas reduce el crecimiento biológico respecto a otros tipos de láminas. También se vio la afección del color en el crecimiento, viéndose que el uso de colores oscuros era más favorable a la inhibición que los colores claros, que presentaban mucho más crecimiento (Blasi *et al*, 2004).

Morteros

El uso de morteros encima del hormigón nos permite añadir aditivos al mortero y poder mejorar las características que nos proporcionan menor crecimiento biológico. También crea una superficie más lisa y que por tanto presenta más problemática a las plantas para poder crecer. En la siguiente figura 2.7 se puede ver aplicada una capa de mortero impermeabilizante (color blanco) en la superficie de un canal para evitar su degradación excesiva (*Alum.A et al, 2008*).



Figura 2.7. Aplicación de mortero impermeabilizante (<http://www.construmatica.com>)

2.3.3. Mallas o telas reductoras de luz natural

El uso de distintas mallas para recubrir el canal para intentar reducir el porcentaje de luz que le llegaban a las algas, fue probado por el “Observatori de l’aigua” (ahora “Institut de l’Aigua”) de la Universidad de Barcelona entre los años 2004 y 2005 en el canal llamado “tubo tonto”, siendo un canal de regadío del canal de la derecha del Ebro.

Para la afectación de cómo afecta la luz solar al desarrollo de las algas, se cubrieron con dos tipos de materiales, el primero a usar fue una malla de nylon y la segunda era el típico material de cubierta de invernadero.

Se pudo observar que la malla de nylon no funcionaba adecuadamente como cubierta, debido a que el material no es poroso, el agua de la lluvia se acumulaba en la superficie haciendo que ésta se cayera dentro del agua debido al peso del agua de la lluvia. Al caerse, quedaba sumergida sin poder recuperar la posición inicial. Al quedar sumergidas crecían encima de ella organismos, junto al problema de su peso, hacía inviable su uso.

La malla de invernadero usada, confeccionada con filamentos de polietileno negro de alta densidad, era porosa y esto hacía que no se quedara agua acumulada y por tanto que no cayera en el canal. Según el fabricante, el porcentaje de sombra que puede obtenerse con este sistema es del 85%. El secado del canal impidió cuantificar la disminución de los organismos en la zona sombreada. Basándose en los resultados tomados en zonas puntuales, se comprobó que la zona protegida por la malla presentó un crecimiento netamente inferior, en comparación a las zonas no sombreadas.

El hecho de que la malla tipo invernadero no quede inundada y sumergida en el agua del canal después de la lluvia, hace que este tipo de mallas sea adecuada para el sombreado en caso de usarse (*Blasi et al, 2004*).

2.3.4. Campos eléctricos

Esta metodología a diferencia de las anteriores, no trata de una actuación de eliminación de algas, sino de un método de prevención. Este sistema está basado en la electrólisis. Estos sistemas tienen un efecto desinfectante sobre el agua potable. Durante el proceso de electrólisis, se expone el agua a una corriente directa de bajo voltaje entre los electrodos. En caso de agua salada, este proceso crea una serie de hipocloritos que eliminan una serie de gérmenes, por esto es tan usado para desinfección.

La eliminación de las bacterias y de los virus que se encuentran en el agua hace que las algas no tengan un buen hábitat para crecer y desarrollarse y por eso es un método eficaz para el control y prevención, pero no para la eliminación.

Debido a la necesidad de buscar una forma para la eliminación de algas con este método, se probó una variante que las eliminaba. Éste método consiste en añadir células de tres electrodos, dos ánodos y un cátodo. A través de una unidad transformadora, se le aplica una corriente eléctrica a los ánodos, que van hacia el cátodo por medio del agua.

Debido al movimiento de los iones en el electrolito, se crea una nube de iones cobre, que evita el crecimiento de las algas. La prevención y el tratamiento con cobre contra las algas, es un método muy usado en aguas superficiales, se añaden partículas de cobre pentahidratado o se añade en formato de sulfato de cobre. La afección del cobre en las algas se describirá adecuadamente en el capítulo 2.4.

Este método fue probado con una boya bastidor facilitada por DENIALINK S.L en 2004 con duración de 6 meses conjuntamente con el ministerio de obras públicas de Holanda en el mar del norte. Debido al reducido alcance de los campos eléctricos hace que su uso en canales no sea económico, deberíamos disponer muchos equipos a lo largo del canal y no se aprovecharía su radio de actuación (*DENIALINK S.L, n.d*).

2.3.5. Uso de ultrasonidos

Éste es un método subacuático muy efectivo, elimina las algas en su totalidad y evita el crecimiento de nuevas algas. A parte, este método usa vibraciones de sonido de alta frecuencia esto hace que sea totalmente respetuoso con el medio ambiente y no daña a animales y humanos.

Éste método consta de un generador de ultrasonidos que genera pulsos de diferentes frecuencias que son transmitidas al agua con una elevada presión sonora. Estas ondas, aunque sean diferentes, todas quedan comprendidas en el rango del ultrasonido, por tanto, son inaudibles.

Estas ondas conducen a la ruptura de diferentes órganos celulares de la planta, tales como las vesículas de gas de las algas verdeazules, como consecuencia impide que las algas suban a la superficie para absorber la luz, imposibilitando así la fotosíntesis. También acaban con el tonoplasto de vacuola que daña la adherencia con la pared celular e implica la muerte para las algas. Al usar diferentes rangos de ondas, esto puede acabar con distintos tipos de algas.

Una vez eliminadas las algas, se han de quitar manualmente, si no, estas plantas sirven de alimento y de nutrientes para las otras y puede hacer más difícil evitar el crecimiento de nuevas algas. Las aplicaciones que ha tenido el método han sido en estanques, lagos, almacenamiento de agua, instalaciones de cría de peces, piscinas y aguas residuales (*LG SONIC, 2014*).

2.3.6. Uso de rayos ultravioleta

Los rayos ultravioletas son ondas electromagnéticas que tienen una longitud de onda que varía entre los 100 y los 400 nanómetros. Estos rayos son la mayor porción de energía del espectro electromagnético que llega a la tierra procedente del sol. Estos rayos se dividen en tres tipos dependiendo de la longitud de onda que tengan, cuanto mayor longitud de onda, menos energética es, y viceversa.

- En primer lugar tenemos el tipo A (UV-A). La longitud de onda de este tipo de rayos ultravioleta fluctúa entre los 320 y los 400 nm, este tipo es el menos energético de los tres.
- En segundo lugar, tenemos el tipo B (UV-B), de una longitud de onda de entre los 280 y los 320 nm. Es más energética y dañina que la A.

- El tipo C (UV-C) es el más dañino y energético de todos, su longitud de onda fluctúa entre los 100 y los 280 nm. En este tipo estarían los rayos gamma y los rayos X.

Este último tipo de radiación ultravioleta, provoca en los microorganismos cambios a nivel celular, en su estructura, destruyéndolos o incapacitándolos para que se puedan multiplicar. Esto es debido a la propiedad que tiene el ácido nucleico (ADN), presente en el núcleo de todos los microorganismos, de absorber la radiación UV que produce la rotura de las cadenas de los aminoácidos de proteínas, causando una disrupción metabólica afectando a su mecanismo reproductivo eliminando sus aptitudes para producir enfermedades y de crecimiento microbiológico.

El método más eficiente para generar este tipo de rayos es mediante una lámpara de descarga de mercurio de baja presión. Esta lámpara tiene una carcasa cristalina que permite el paso de las longitudes de onda mayores a 200nm. La radiación mayor a 200nm es máxima para una determinada presión de vapor de mercurio y determinada por la temperatura de trabajo que está entorno a los 40°C.

Los equipos de desinfección consisten en un tubo por donde pasará un cierto caudal de agua determinado por el potencial de la lámpara, y por fuera del tubo, la lámpara de UV. El sistema va dentro de una carcasa opaca debido a sus efectos dañinos para los humanos, en especial, para los ojos. Esta radiación puede afectar gravemente al cristalino y a la retina del ojo humano, por eso no se debe exponer al ojo humano y debe ir cubierto de un material opaco.

Este método consigue eliminar los parásitos, gérmenes, bacterias, virus y algas presentes en el agua sin alterar las propiedades químicas y físicas del agua, como su pH, temperatura, dureza, olor, color, etc. Sin generar residuos a bajo coste y con fácil instalación. Es aplicable para acuarios y otros elementos de reducido volumen de agua.

2.4. MÉTODOS QUÍMICOS

En este apartado se describen los diferentes métodos químicos, también llamados alguicidas o biocidas, usados hasta la fecha. Estos métodos químicos pueden trabajar por oxidación o sin oxidación. Entendemos cómo método químico, todo aquel que afecte o destruya la estructura de la planta a nivel molecular o que sean usados productos químicos de forma directa.

En primer lugar, se describirán los diversos métodos que trabajan por oxidación. La forma de trabajar de estos métodos es la siguiente. Los agentes oxidantes actúan precipitando los materiales pesados que puedan encontrarse disueltos en el agua y

elimina todo tipo de compuestos orgánicos que pueda contener el agua, compuestos que sirven de alimento para las algas.

En segundo lugar, se describirán otros alguicidas que no trabajan por oxidación, en cada una de las descripciones se explicará cómo cada uno de ellos trabaja y elimina las algas.

2.4.1. Oxidación por bloques de paja de cebada

Aunque este método provenga de la descomposición de la paja, en general de cebada, acaban siendo los compuestos químicos derivados de esta descomposición los que eliminan las algas y con un uso continuado, sirve como forma de prevención. El uso de paja de cebada en el agua ha sido probado en numerosos países alrededor del mundo y ha demostrado ser muy efectivo en la mayoría de los casos, y sin efectos adversos conocidos.

Cuando ponemos la paja de cebada en el agua, esta empieza a descomponerse y se generan compuestos químicos que impiden que el crecimiento de las algas. La pudrición es un proceso microbiano dependiente de la temperatura, a cuanto más temperatura, más rápido se realiza la pudrición, por tanto en mayor es más rápida que en invierno. A temperaturas inferiores a 10°C el proceso de activación de la paja puede costar entre 6 y 8 semanas, pero a temperaturas superiores a 20°C, este tiempo se reduce a 1 o 2 semanas.

Durante el periodo inicial (antes de la activación) el crecimiento de las algas seguirá sin problemas. Una vez la paja se vuelva activa y comienza a liberar los compuestos químicos, este proceso se dará hasta que se descomponga totalmente. Este periodo de tiempo, dependerá de la temperatura y de la forma en que sea aplicada la paja. La paja normalmente se mantiene activa entre 4 y 6 meses, después su eficacia disminuye rápidamente. En general los compuestos que libera la paja no son tóxicos, aunque algunos pueden tener algunos efectos tóxicos a ciertas concentraciones.

Dado que éste método particular acaba con las algas por la descomposición de la paja en peróxido de hidrógeno, añadiendo una concentración constante en el agua puede tener efectos muy similares sobre las algas al de la paja. Esto ha sido verificado en numerosos experimentos realizados.

Para algas filamentosas, la aplicación de este método no es muy eficaz si se aplica una vez ha empezado la temporada de crecimiento de las algas. Por tanto es preferible añadir la paja a principios de primavera, antes del inicio de este crecimiento.

Este método es eficaz aplicado en aguas bien oxigenadas. En el caso de los invertebrados o peces, no se han comprobado efectos perjudiciales en concentraciones normales de peróxido de hidrógeno. Para concentraciones normales, las poblaciones de invertebrados se han incrementado sustancialmente alrededor de la paja, convirtiéndose en fuente de alimento para los peces.

Debido a que la mayoría del crecimiento de las algas tiene lugar en las capas superficiales del agua, vemos que el factor que importa para calcular el volumen de paja requerido, depende de la superficie, no del volumen de agua.

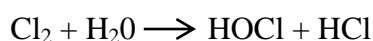
En cursos de aguas en movimiento como canales, no se tiene suficiente información de la cantidad de paja necesaria, sin embargo se ha probado en el río Pang, con una bala de unos 20kg cada 30 – 50 m y ha funcionado controlando el crecimiento de las algas en los 50m siguientes a la aplicación de los bloques. Estos se pusieron en jaulas de alambre ancladas al fondo del río con la paja (*Newman, Jonathan., 2012, CENTER FOR ECOLOGY & HYDROLOGY 2008*)

2.4.2. Oxidación por cloro y derivados

El cloro probablemente es el biocida más usado a nivel mundial, tanto por industrias como para el saneamiento de aguas de consumo humano. La cantidad de cloro necesaria viene dada por distintos factores. Los factores que rigen este aporte son los siguientes: demanda de cloro, tiempo de contacto con el agua, pH , temperatura, volumen de agua y tiempo de aireación.

Cuando se añade el cloro gaseoso en el agua (aunque normalmente se hace en forma de líquido como lejía), se hidroliza para formar ácido hipocloroso y clorhídrico. Éste último es el que determina la actividad alguicida del cloro. El proceso que ocurre con el cloro gaseoso en su mezcla con el agua es la definida en la fórmula 2.1.

[Ecuación 2.1]



El ácido clorhídrico es el reductor en las reacciones de oxidación que se generan en el citoplasma de las algas y de los microorganismos, después de la difusión a través de las paredes de la célula. El cloro dificulta la producción de ATP, compuesto esencial para la respiración de los microorganismos. Las bacterias presentes en el agua morirán debido a su dificultad para poder respirar en el agua debido a la acción causada por el cloro.

La cantidad de cloro necesaria para el control del crecimiento viene determinada por el pH. Cuanto más básico es el pH, más cloro necesitaremos para eliminar las bacterias existentes en el agua. Los valores característicos de aportación para ciertas horquillas de pH son las mostradas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Valores característicos de cloro según pH

Rango de pH	PPM de cloro
de 8 a 9	0,4
de 9 a 10	0,8

La cloración es un método desinfectante muy usado en las ETAP para mantener un nivel de desinfección en todo el sistema de transporte del agua hasta las viviendas. También es un método aplicado en canales. En 1923 se instaló en Torrelaguna la primera estación de cloración en el canal de Isabel II realizado por una comisión de expertos en bacteriología encabezada por el nobel Santiago Ramón y Cajal (*El Periódico*, 2009).

En 2009 debido al mal olor que se producía en el canal, la administración encargada de la explotación del canal, decidió elevar el nivel de cloración en él (*Canal de Isabel II Gestión*, n.d).

2.4.3. Oxidación con ozono

La oxidación es el proceso de intercambio de electrones entre varios elementos. El elemento que cede los electrones es llamado reductor y es el que se oxida. Por el contrario el agente oxidante es el que se queda con los electrones que el reductor libera.

El ozono es una forma alotrópica triatómica del oxígeno termodinámicamente inestable y descomponiéndose de forma espontánea en oxígeno. Es el segundo oxidante más potente del mundo por detrás del flúor y actúa tanto con materia orgánica como inorgánica.

Las reacciones con ozono pueden darse por dos mecanismos distintos, por reacciones directas o por reacciones indirectas. Las reacciones directas dificultan la creación de ATP, dificultando la respiración de las células de los microorganismos. Durante la oxidación, las células mueren por pérdida del citoplasma.

Algunos de los factores que deciden la cantidad requerida son el pH, temperatura, solventes y compuestos orgánicos y los productos acumulados durante la reacción.

Además de las reacciones directas, tiene efectos indirectos consecuencia de la acción de radicales hidroxilos resultantes del proceso de descomposición del ozono en el agua. La descomposición del ozono puede dar lugar a peróxido de hidrógeno, también dañino para las algas como se comentó en el apartado explicativo de los bloques de paja.

La eliminación de plantas por medio del ozono, también llamado ozonificación, se aplica mezclando moléculas de ozono con el agua. Para ello se inyecta ozono mezclado con aire u oxígeno dentro del agua. Éste compuesto tiene una vida corta debido a su inestabilidad y acaba disociándose en el agua. Ésta metodología a diferencia del cloro, respeta al medioambiente y no daña ni humanos ni animales.

Actualmente este proceso se aplica en algunos canales como el de Isabel II, en 2009 tras los malos olores que se detectaron en el canal, se incrementó el uso de la ozonificación para intentar acabar con estos olores (*El Periódico*, 2009).

2.4.4. Eliminación por uso de cobre

El uso de agentes químicos para eliminar algas es muy común, siendo uno de los principales protagonistas el cobre. Estos compuestos químicos que se añaden al agua destruyen por completo las algas, pero también afecta de forma significativa al resto de seres vivos coexistentes en el agua a tratar.

El cobre, es uno de los mayores agentes alguicidas usados hasta día de hoy. Este elemento se puede añadir en el agua de varias formas. Una de ellas, es en forma de cobre pentahidratado y otra, también muy usada, es en forma de sulfato de cobre.

El cobre produce lesiones en las raíces que comienzan en el plasmalema y terminan con la destrucción de la estructura de la membrana; inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de numerosas raíces secundarias, cortas y de color marrón.

El cobre también se acumula en la corteza de las raíces y en las paredes celulares. Entonces se produce clorosis debido al desplazamiento del hierro de los centros fisiológicos del metabolismo y siendo reemplazado por el cobre. Las plantas acuáticas asimilan tres veces más cobre que las plantas terrestres, por esto el tratamiento con cobre es tan efectivo en algas esta solución, es menos efectiva cuando se trata de aguas duras (altos contenidos de calcio y magnesio) y es más efectivo para temperaturas mayores a 16°C (aproximadamente 60°F).

El IPCS (International Programme on Chemical Safety) concluyó que el límite máximo aceptable de ingesta por vía oral para adultos resulta dudoso, pero no más

varios miligramos al día. En estudios recientes se ha definido el umbral de concentración de cobre en el agua de consumo que produce efectos sobre el aparato digestivo, pero todavía hay ciertas dudas respecto a los efectos del cobre a largo plazo. Es por estas razones, que el uso del cobre para el tratamiento de aguas de consumo y aguas de riego es poco indicado. Estos procesos tampoco acaban con las toxinas desprendidas por las algas.

2.4.5. Uso de otros compuestos químicos

Acroleína

La acroleína es un líquido incoloro o de color amarillo con un olor característico a quemado penetrante. Es un gas fácilmente inflamable en el aire. A temperaturas normales, la acroleína se transforma en vapor mucho más rápido que el agua. La transformación de líquido a vapor se acelera con la temperatura. La acroleína puede encontrarse en el aire, el agua o el suelo cerca de lugares con residuos peligrosos si no es almacenada adecuadamente. Aunque la acroleína se puede encontrar en agua de superficie y en el suelo, puede evaporarse rápidamente, ligarse a material del suelo o puede desactivada rápidamente con sulfito de sodio.

La acroleína es un alguicida extremadamente eficaz y se añade a los canales de irrigación y a los suministros de agua de algunas plantas industriales para el control del crecimiento de algas y otros elementos biológicos. La acroleína es muy tóxica e inflamable, esto hace que no sea de uso corriente.

Fenoles tratados con cloro

Los fenoles clorados inhiben el crecimiento de los microorganismos. Se adsorben a la pared celular del microorganismo por interacción con el hidrógeno. Luego se difunden por la pared celular hasta llegar a la célula y allí quedan en suspensión precipitando las proteínas. Debido a este mecanismo, el crecimiento de los microorganismos queda inhibido.

Aminas

Las aminas son compuestos derivados de la sustitución de radicales hidrógeno por radicales alcohólicos o aromáticos en el amoníaco. En caso de ser sustituidos por radicales alcohólicos las llamamos aminas alifáticas y si por el contrario son sustituidos por radicales aromáticos las llamamos aminas aromáticas.

Las aminas son surfactantes, por tanto pueden reducir las tensiones superficiales del agua, y pueden actuar como biocidas debido a su capacidad para eliminar

microorganismos. Estos también pueden potenciar el efecto de los fenólicos clorados cuando son añadidos en el agua (Arroyo, Patricio, 2011).

Compuestos órgano-sulfúricos

Son compuestos químicos orgánicos formados por un esqueleto de átomos de carbono dónde algún o algunos de los hidrógenos adheridos al carbono han sido substituidos por átomos sulfuro. Muchas veces se asocian con malos olores.

Éstos compuestos actúan transfiriendo la energía a células bacterianas en el proceso en el que el ión hierro gana un electrón. Estos compuestos quitan el Fe^{3+} por complejación como sal de hierro. La transferencia de energía es parada inmediatamente y la célula muere.

Sales de cuaternaria de amonio

Las sales cuaternaria de amonio son productos químicos que son tenso activos. Consisten generalmente en un átomo de nitrógeno rodeado por grupos sustitutivos de ocho a veinticinco átomos de carbón.

Estos compuestos son más eficaces generalmente en gamas alcalinas de pH. Se cargan y enlazan positivamente las partículas cargadas negativamente en la pared de la célula. También causan daño al flujo normal de compuestos que sostienen la vida a través de la pared al paralizarlos, disminuyendo su permeabilidad. Tiene un uso muy limitado debido a su interacción con otros productos.

Permanganato potásico

Desde hace mucho tiempo, es sabido que el permanganato potásico es un oxidante muy potente. Este oxidante, quema y destruye algunas especies de algas, especialmente las filamentosas. Debido a la protección inherente a la estructura del biofilm y al aislamiento favorecido por los sedimentos acumulados, el permanganato potásico actúa solo sobre las capas superficiales y partes finales de los filamentos, quedando las bases de muchas algas inalteradas.

Éste método también permite reducir los olores producidos por las algas. Por una parte, rompen las moléculas de las sustancias orgánicas causantes de los olores, por otra parte, al quedar estas sustancias libres en el agua, éstas son adsorbidas por el MnO_2 formado en el proceso REDOX.

2.5. CONCLUSIONES DE LOS MÉTODOS USADOS

Como se ha ido comentando para cada uno de los alguicidas o métodos físicos que se han comentado anteriormente, algunos son aptos y otros no lo son para el uso para la inhibición del crecimiento biológico en canales. Algunos de ellos no se deben usar por su toxicidad, otros no se deben usar por su ineficacia y otros se han de seguir investigando. En la tabla 2.3 se muestra un resumen de los métodos con su posible uso en canales de agua para consumo humano o riego.

Tabla 2.3. Resumen de los métodos

Método	Uso	Método	Uso
Desbroce manual	✓	Cloro y derivados	✓
Superficies Hidrofóbicas	✓	Ozono	✗(2)
Recubrimiento con Láminas	✓	Cobre	✗(1)
Recubrimiento con Morteros	✓	Acroleína	✗(1)
Mallas reductoras de luz	✓(4)	Fenoles con cloro	✗(2)
Campos Eléctricos	✗(2)	Aminas	✗(2)
Ultrasonidos	✗(2)	Compuestos órgano - sulfúricos	✗(2)
Rayos ultravioleta	✗(2)	Sales de amonio	✗(2)
Bloques de paja de Cebada	✓(3)	Permanganato potásico	✗(2)

- (1) *Uso no debido por su toxicidad*
 (2) *Uso no debido por su bajo ratio efectividad coste*

- (3) *Se debe probar más adecuadamente para determinar su nivel de funcionamiento*
 (4) *Posible con bajo rendimiento pero relativamente barato*

Los métodos que presenten una cruz, serán aquellos que no se pueden usar, aquellos métodos que presenten un tick, querrá decir que pueden usarse en este tipo de canales. Como se observa en la tabla 2.3, los métodos que son más eficaces son los métodos físicos. El que es más usado a nivel global debido a su facilidad y bajo coste a corto periodo es el de desbroce manual, aunque, como ya se ha visto en el debido apartado, costoso a largo plazo.

Otros métodos que son eficaces son aquellos que se trate de recubrir el hormigón del canal con algún elemento que dificulte la adhesión del biofilm, que tenga productos inhibidores o que reduzca la luz que llega al alga. Un método que funciona en aguas estancadas es el de la paja de cebada, éste método se está probando actualmente en el río Pang y está dando buenos resultados, pero debe probarse en otros ríos y ambientes para contrastar su efectividad.

CAPÍTULO 3

ACTUACIONES REALIZADAS

3.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en el capítulo anterior, existen muchas formas para intentar evitar el crecimiento biológico en superficies de todo tipo, aunque todas estas metodologías no son definitivas en cuanto se refiere a eliminar por completo el crecimiento biológico. Por este motivo, la Universidad Politécnica de Catalunya y la empresa BASF Construction Chemicals S.S., desarrollaron la tesis doctoral de José María Vaquero (2013).

En dicha tesis se evaluaron una serie de productos comerciales con agentes eliminadores de agentes biológicos y se valoraron como tratamientos inhibidores biológicos para el hormigón. La metodología usada en el laboratorio consistió en un ensayo en cascada, con 5 etapas, y cada compuesto evaluado debía superar cada etapa para pasar a la siguiente, de lo contrario se consideraba no apto.

Después de la fase experimental en el laboratorio se realizaron dos ensayos de campo con los formulados que fueron considerados válidos para la inhibición de crecimiento microbiológico en el hormigón, y así poder evaluar su efectividad en condiciones reales de uso. Los ensayos se llevaron a cabo en el Puerto de Barcelona.

Después de ver la efectividad del compuesto en el Puerto de Barcelona, se planteó la necesidad de evaluar el producto en fase de explotación mediante una campaña experimental, que fue realizada por Víctor Cugat Martí (2015). Dichas fases experimentales se llevaron a cabo en un canal de la derecha del Ebro y otro en Sant Jaume d'Enveja.

En este capítulo se explicarán brevemente las dos fases experimentales, tanto el proceso elaborado por José María Vaquero (2013) para elaborar el compuesto y sus resultados en el Puerto de Barcelona como la fase experimental realizada por Víctor Cugat Martí (2015) en los canales de Gavet de la Conca y Sant Jaume d'Enveja para contrastar la efectividad de los productos testados.

3.2. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

3.2.1. Proceso de elaboración del aditivo y experimentación

En muchas ocasiones, los seres humanos tienen la necesidad de transportar el agua, tanto para su consumo como para regadío y otros fines. El hecho de tener el hormigón sumergido provoca el crecimiento de los agentes biológicos explicados anteriormente. Este crecimiento provoca un aumento del coeficiente de Manning que a su vez provoca mayor rozamiento entre el agua y la superficie y por consiguiente, pérdida de transporte, también reduce el área de transporte, teniendo los mismos efectos. Estas pérdidas de rendimiento generan unas pérdidas económicas elevadas para los explotadores de los canales.

Por estos motivos se ha intentado evitar o reducir el crecimiento de agentes biológicos. José María Vaquero (2013) analizó diferentes compuestos y formuló dos productos aptos para la inhibición del crecimiento biológico. Estos productos fueron el PL-UV-H-2B, que fue considerado apto tras el ensayo en cascada y el formulado PL-UV-H-3B, derivado del anterior con alguna modificación.

Los criterios generales considerados en el proceso de formulación de estos productos fueron los siguientes:

- Efectividad ante agentes biológicos
- Alteración mínima de las prestaciones del material
- No toxicidad para los seres humanos
- No lixiviación y no solubilidad en agua

- Durabilidad cercana al periodo de servicio de la estructura
- Estabilidad en el medio alcalino que es el hormigón
- Actividad en rangos de temperaturas de 5°C a 30°C
- Coste razonable para ser competitivo en el mercado

Teniendo en cuenta todos estos parámetros y condiciones, se probaron diez compuestos del mercado que fueron valorados como agentes microbianos. En primer lugar se realizó una fase experimental por separado, y después se probaron en combinación para conseguir un espectro de acción antimicrobiana lo más amplio posible. En total se ensayaron 10 formulados monocomponente y 5 formulados multicomponente, realizándose de este modo una selección de las características y formulaciones más adecuadas.

En la siguiente figura 3.1 se muestra el proceso en cascada al que se sometieron los diferentes productos. En primer lugar se evaluaron las propiedades fundamentales, seguidamente se evaluaba la migración de los agentes químicos. Una vez superados estas evaluaciones, se medía su actividad antimicrobiana inicial, una vez hecha esta medición, se dejaba envejecer y finalmente se evaluaba la actividad antimicrobiana final. En cada uno de estos pasos, si la probeta no padecía diferencias significativas, se desechaba y no seguía el proceso.

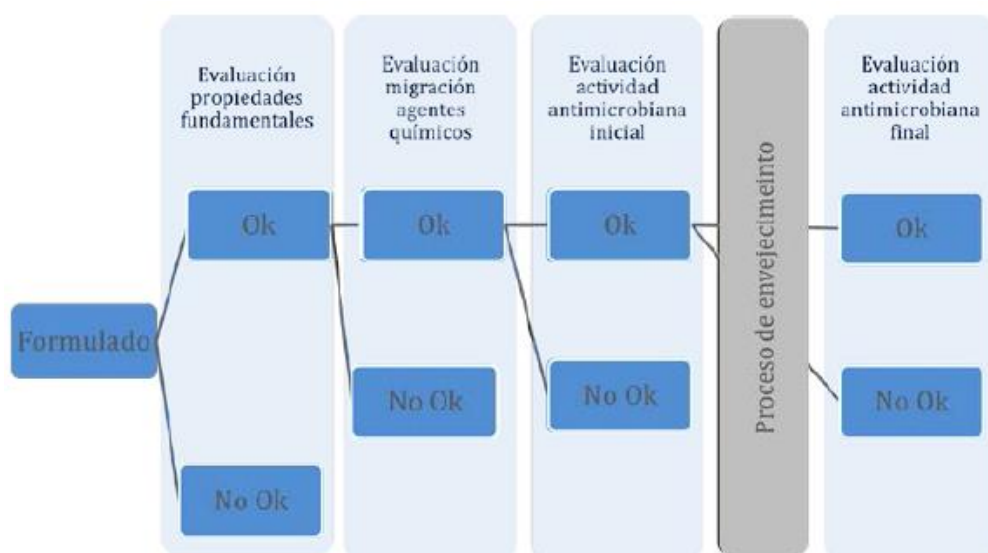


Figura 3.1. Diagrama de flujo de los ensayos de laboratorio, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)

Para medir la afectación a las propiedades del material, se escogieron los siguientes parámetros: consistencia, resistencia a tracción y a compresión a distintas edades, y la densidad, tanto en estado fresco como endurecido. Las probetas se fabricaron según la norma UNE-EN 12390-2, de un tamaño de 4x4x16 cm, con una amasadora de 25 litros de laboratorio convencional de eje vertical, y reposaron en una cámara de curado hasta el momento de su ensayo. Se realizaron ensayos para medir la afectación de los parámetros generales adoptados.

Una vez finalizados todos los ensayos que se realizaron para medir la afectación en el hormigón y las propiedades inhibitoras de crecimiento biológico en el hormigón, se presentó un formulado inhibidor, el formulado PL-UV-H-2B, que está compuesto por dos principios activos: el IRGASAN DP 300® y el ACTICIDE SR 1453®, a una concentración del 15% y el 30% de materia activa respectivamente. Debido a la dificultad de presentarlo en solución estable, se presentó en estado sólido. En la siguiente tabla 3.1 se pueden ver las características del formulado.

Tabla 3.1. Características del formulado PL-UV-H-2B, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)

Formulado PL-UV-H-2B	Composición			
	IRGASAN DP 300® ACTICIDE SR 1453®		MOUSSEX® FILLER CALIZO	
Principio activo	2,4,4'-Tricloro-2' hidroxí-difenil-eter 2-Octil-2H-isotiazol-3-one + terbutrin			
Características físicas	Producto sólido			
Propiedades	Bactericida-fungicida-alguicida			
Dosificaciones ensayos (% spms)	0	0,15	0,2	0,3
Resultados ensayos físicos				
Consistencia (mm)	148	152	145	150
Densidad en estado fresco (g/l)	2523	2501	2479	2484
Densidad en estado endurecido (g/l)	2476	2465	2430	2449

Una vez demostrado que el aditivo no afectaba a las propiedades básicas para lo que estaba diseñado el hormigón y probado en condiciones de envejecimiento de laboratorio, se probó en campo en el Puerto de Barcelona. En el primer ensayo se evaluó la efectividad del PL-UV-H-2B. Se confeccionaron 6 probetas, 3 con tratamiento y 3 sin, y con 3 tipos de rugosidad para cada grupo. Las 6 probetas se fijaron a una placa y se ubicaron en una rampa del embarcadero del puerto. La exposición duró 4 meses., durante este tiempo se realizó un seguimiento fotográfico. Al terminar el tiempo de exposición se realizaron unos ensayos microbiológicos como los que se llevaron a cabo en el laboratorio.

Para el segundo ensayo se elaboró el formulado PL-UV-H-3B, una modificación de PL-UV-H-2B que para abaratar el coste, no contenía bactericida. Se elaboraron dos probetas de hormigón, una con tratamiento y otra sin, y se probaron también en la rampa del puerto. Estas solo estuvieron expuestas durante 2 meses, también se realizó un seguimiento fotográfico.

Tabla 3.2. Características del formulado PL-UV-H-3B, perteneciente a la tesis doctoral de José María Vaquero (2013)

Formulado PL-UV-H-3B	Composición	
	ACTICIDE SR 1453	MOUSSEX FILLER CALIZO
Principio activo	2-Octil-2H-isotiazol-3-ona + terbutrin	
Características físicas	Producto sólido	
Propiedades	Fungicida antialgas	
Dosificación (%spms)	0	0.3
Resultados ensayos mecánicos		
Consistencia (mm)	149	151
Densidad en estado fresco (g/l)	2526	2514
Densidad en estado endurecido (g/l)	2478	2469

Finalmente, una vez probados los dos aditivos, se concluyó que el formulado PL-UV-H-2B presentó una elevada inhibición para todos los tipos de rugosidad, tanto que en el periodo de exposición no se había producido crecimiento en las probetas con este aditivo. Para el formulado PL-UV-H-3B se concluyó que presentaba un claro efecto inhibidor aunque, al paso del tiempo, las algas volvían a crecer.

Una vez probados estos componentes, se decidió probar los aditivos en canales con condiciones reales de explotación, para ello la empresa BASF Construction Chemicals S.A subministro diferentes productos de Masterseal. Para las pruebas en canales se escogieron el canal de la derecha del Ebro en Sant Jaume d'Enveja, cerca de Sant Jaume d'Enveja, y el canal que pasa por Gavet de la Conca.

Cabe destacar que estas actuaciones siguen en curso, por tanto no se disponen datos definitivos sino que es un seguimiento, aunque se puede apreciar que el compuesto en Gavet de la Conca funciona mejor que en Sant Jaume d'Enveja, ya que a día de hoy, existe menos crecimiento biológico.

3.2.2. Canal de Gavet de la Conca

El canal de Gavet, está situado en la comarca del Pallars Jussà (ver figura 3.2), este canal obtiene el agua del río Noguera Pallaresa, río afluente del Segre que a su vez desemboca en el Ebro.



Figura 3.2. Situación geográfica de Gavet de la Conca (Cugat Martí 2015)

El canal de Gavet es una infraestructura construida en el año 1913, actualmente está gestionado por Endesa Generación S.A. Su función básica es de alimentar las turbinas de la central hidroeléctrica de Reculada, el canal también se usa con fines agrícolas. El canal nace en el embalse de Sant Antoni y durante 8 km transcurre paralelo a la Noguera Pallaresa hasta llegar a la central de Reculada.

Uno de los problemas presentes es el del crecimiento de algas en los hastiales del canal, en ocasiones llegando a tener varios centímetros. Este recubrimiento provoca los problemas de los que se ha hablado en anterioridad, pérdida de sección y aumento del coeficiente de Manning, que esto conlleva a una pérdida de capacidad de transporte y un rendimiento menor al deseado.

Las tareas de limpieza de este canal son manuales, esto acaba provocando que la porosidad y rugosidad de la superficie aumenten. El rascado de la superficie acaba desgastando el canal y obligando a realizar reparaciones, estas se hacen con hormigón proyectado y se frata la superficie una vez reparado para dejar la superficie lisa. Estas tareas se llevan a cabo cada dos años, cuando se vacía el canal. En la siguiente figura 3.3 se muestra el estado del canal una vez vaciado y antes de hacer la limpieza.



Figura 3.3. Canal de Gavet de la Conca vacío antes de la limpieza

Gracias al convenio entre la Universidad Politécnica de Catalunya y Endesa Generación S.A. (CTT 10240), se pudo experimentar en dos tramos del canal el aditivo elaborado en la tesis doctoral de José María Vaquero (2013). El primer tramo en el que se ha aplicado es el tramo que atraviesa la población de Vilamitjana y el segundo es en la salida de la central de Talarn. En ambos se usó el aditivo PL-UV-H-3B.

3.2.3. Canal de la derecha del Ebro

El canal de la derecha del Ebro pertenece a la comunidad de regantes de la derecha del Ebro. Esta infraestructura inaugurada en 1857 lleva el agua desde el azud de Xerta pasando por los arrozales del delta del Ebre hasta Sant Jaume d'Enveja, por tanto destinado al riego y uso agrícola. Se encuentra entre las comarcas del Montsià y del Bajo Ebro, con una longitud total de 52km y un caudal de unos 30 m³/s riega unas 12.000 Ha aproximadamente.

Igual que el canal de Gavet, el problema del crecimiento de algas es muy importante, sobre todo sabiendo que la comunidad de regantes paga por el caudal y la pérdida de éste causado por las algas. El crecimiento de algas en los hastiales retiene una cantidad de limos y materiales arenosos que llega a los 5cm. En la siguiente figura 3.4 se muestra la situación geográfica del canal.

A continuación se muestra en la figura 3.5 el procedimiento de limpieza del canal. La limpieza es continua en los meses de actividad del canal, de octubre hasta abril. Estos se hacen con tractores equipados con brazos Herder con púas. Para ello se usan los caminos de servicios existentes adyacentes al canal, el hecho de que algunos tramos no existan estos caminos, provoca que no haya limpieza. Con esta metodología, el biofilm no puede ser eliminado y favorece al crecimiento posterior de las algas.



Figura 3.4. Situación geográfica de Sant Jaume d'Enveja (Cugat Martí 2015)



Figura 3.5. Limpieza del canal de Sant Jaume d'Enveja mediante tractor con brazo Herder (Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro)

Debido a la necesidad de la Comunidad regante de eliminar los problemas con el biofouling y que otros tratamientos no son viables debido al gran volumen de agua en circulación del canal o la toxicidad de otros métodos y con la finalidad de seguir evaluando la eficiencia del aditivo inhibidor de crecimiento microbiológico desarrollado por Vaquero en su tesis doctoral (2013), la UPC conjuntamente con BASF Construction Chemicals S.A y la Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro realizó un tramo experimental en el Canal de la Derecha del Ebro, cerca de Sant Jaume d'Enveja.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES

En el año 2013 empezaron las actuaciones de aplicación del producto que siguen evaluándose actualmente. En los siguientes apartados se describirá las actuaciones que se realizaron en los dos canales de estudio.

3.3.1. Actuación en el canal de Gavet

En el canal de Gavet se realizaron dos tramos experimentales, el primero de ellos en la parte que pasa por el municipio de Vilamitjana, la segunda actuación se realizó en el tramo que concurre por Talarn.

Tramo de Vilamitjana

La semana del 28 octubre de 2013 se procedió al vaciado del canal para su limpieza y mantenimiento, se aprovechó para determinar las dos zonas de experimentación que se realizó el 14 de noviembre de 2013. La primera, estaba cerca del p.k. 2500, el hormigón de ese tramo había sido renovado anteriormente, al ser antiguo presentaba una superficie con cierta rugosidad. La segunda zona de actuación estaba ubicada aproximadamente en el p.k. 2750. En este tramo el hormigón había sido renovado y fratasado y presentaba una superficie lisa. En la figura 3.6 se muestra la situación geográfica de los tramos a estudiar.

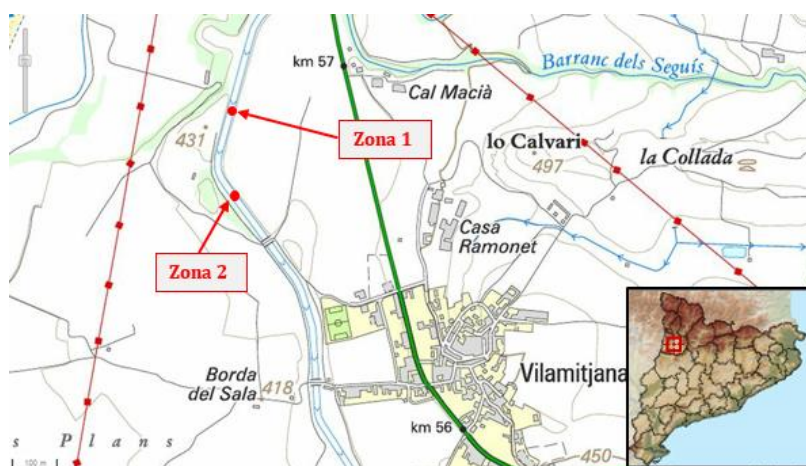


Figura 3.6. Situación geográfica de los tramos experimentales en Gavet (Cugat Martí 2015)

En cada tramo se usaron los productos comerciales Masterseal 6100 FX y Masterseal 325 E, ambos suministrados por BASF Construction Chemicals S.A. En ambas zonas se aplicaron los dos productos, en la siguiente figura 3.7 se muestra el acabado superficial para cada zona y para cada material.

La primera evaluación se realizó al cabo de 10 meses, fue una inspección visual en que se pudo observar que en la zona tratada con el Masterseal 6100 FX presenta muy buen comportamiento debido a que no se apreciaba crecimiento de algas. La zona tratada con el compuesto Masterseal 325 E, por el contrario, sí que mostraba crecimiento muestras de biofouling. En la figura 3.8 se muestran ambos compuestos

durante la primera inspección visual en la zona 1 y en la figura 3.9 se muestra para la misma inspección para la zona 2.

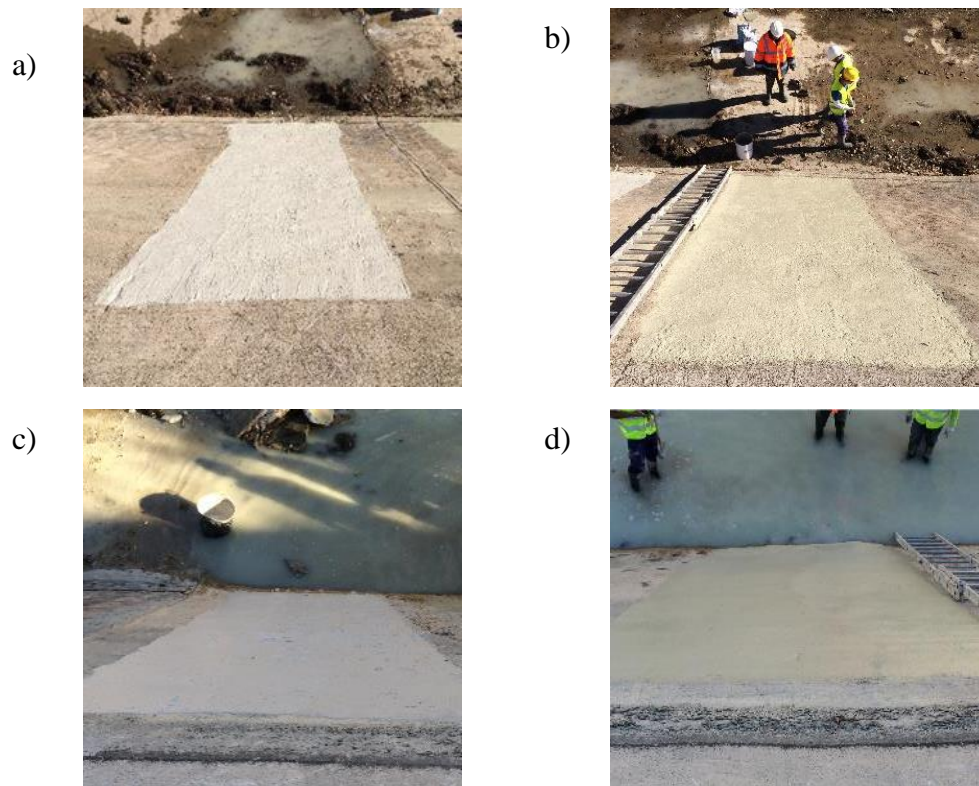


Figura 3.7. Acabados superficiales (Cugat Martí 2015), a) zona1 Masterseal 6100FX b) zona1 Masterseal 325 E, c) zona2 Masterseal 6100FX, d) zona2 Masterseal 325E

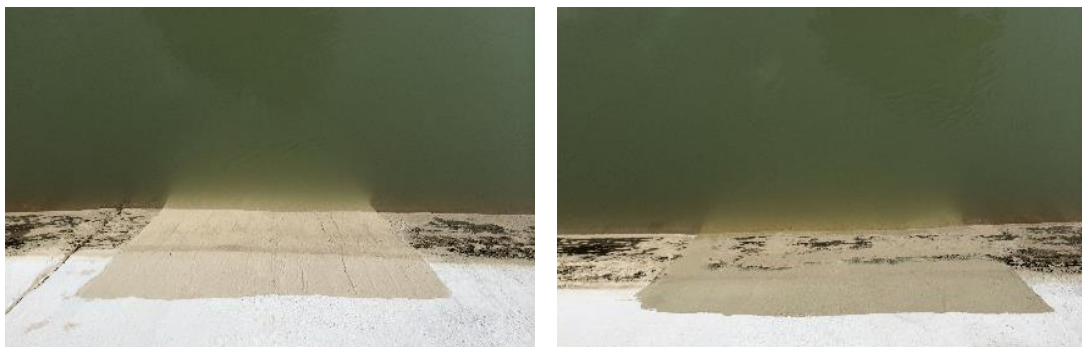


Figura 3.8. Crecimiento a los 10 meses de la actuación en la zona 1 (Cugat Martí 2015)



Figura 3.9. Crecimiento a los 10 meses de la actuación en la zona 2 (Cugat Martí 2015)

Para el tramo dos, los resultados fueron positivos en ambos compuestos. Tanto el Masterseal 6100 FX como el Masterseal 325 E dieron resultados positivos, sin biofouling en ninguno de los dos casos. El hecho de que en la zona 1 la zona tratada con el Masterseal 325 E tuviera biofouling, puede darse debido a que en las zonas con aplicación del Masterseal 6100 FX el compuesto se aplicó con lechada cementosa, alcanzando los 2 mm de espesor, por el contrario las zonas donde se aplicó el Masterseal 325 E se realizó con pintura acrílica que no se superaron los 0,5 mm de espesor. El hecho de tener menor espesor pudo hacer que en las zonas tratadas con el Masterseal 325 E, al tener menor espesor, no tuviera el suficiente principio activo para inhibir el crecimiento biológico.

En la zona 2 ambos productos presentaron buenos resultados, sin crecimiento de algas en la superficie. Esta diferencia de comportamiento del producto Masterseal 325 E en las dos zonas puede estar asociado a la rugosidad superficial del sustrato en ese tramo. El 18 de noviembre 2015, se llevó a cabo una segunda inspección aprovechando el vaciado del canal como se aprecia en la siguiente figura 3.10 la diferencia entre las zonas de aplicación del compuesto y las zonas donde no se aplicó en cuanto a crecimiento de algas son importantes.

Las zonas recubiertas con los distintos compuestos presentan biofilm y un pequeño crecimiento de algas, debido a la gran diferencia entre las zonas con aplicación de los formulados con respecto a las que no tienen este recubrimiento, podemos decir que los compuestos funcionan muy bien.



Figura 3.10. Crecimiento a los 24 meses de la actuación (Cugat Martí 2015)

Tramo de Talarn

La fase experimental en la zona de Talarn se llevó a cabo a la salida de la central hidroeléctrica, a 22 metros aguas arriba de la compuerta que controla el nivel del canal. La primera actuación de montaje se realizó el 25 de febrero de 2015. El objetivo de esta actuación fue la de evaluar las diferentes variables del tratamiento alguicida elaborado por José María Vaquero (2013). Las variables que se analizaron fueron: el espesor, el contenido activo y el tipo de agente de aplicación. Para ello se colocaron probetas que simulaban los hastiales del canal.

Los aditivos inhibidores que se utilizaron fueron dos productos comerciales suministrados por BASF Construction Chemicals S.A., el Masterseal 531 y el Masterseal 550. Ambos productos son morteros impermeables, resistentes al ataque por sulfatos y sin elementos tóxicos. De cada producto se hicieron probetas variando los espesores (1 y 2 mm) y contenidos de principio activo (1, 2,75 o 4,5% del peso seco de la mezcla). En total se prepararon 8 probetas con las mismas características de cada tipo, repartidas de forma equitativa en tres bastidores, en total 70 probetas.

Para los contenidos de 1 y 2,75% de principio activo solo se usó el espesor de 2 mm, porque se consideró que para el de 1 mm no habría la suficiente concentración de aditivo inhibidor realizar su función. Aparte de las probetas con aditivo, se construyeron pruebas patrón sin el aditivo inhibidor, y se colocaron una con cada tipo de mortero en los diferentes bastidores.

Las actuaciones en este tramo se realizarán a lo largo de 2015 y 2016. Durante este periodo de tiempo se realizará un seguimiento de la aparición de biofilm en las probetas. Es por eso que se planificaron una serie de actuaciones considerando distintos tiempos de exposición, para evaluar el crecimiento biológico en diferentes épocas del año. En la siguiente tabla se muestran los distintos tiempos de evaluación previstos.

Tabla 3.3. Programación de evaluación prevista (Cugat Martí 2015)

Visita	Ref.	Tiempo	Objetivo	Fecha
0	t_0	—	Montaje e inicio de la exposición	25/02/2015
1	t_1	1 mes tras el montaje	Primera evaluación de supervisión	26/03/2015
2	t_2	≈ 3 meses tras el montaje	Analizar la evolución	03/06/2015
3	t_3	7 meses tras el montaje		25/09/2015
4	t_4	1 año tras el montaje		16/03/2016

En la figura 3.11 se puede observar una imagen de uno de los bastidores en la primera fecha de evaluación, el 26 de marzo de 2015, tras pasar un mes des del montaje. En ella se puede observar como alguna de las probetas empieza a presentar un notable crecimiento microbiológico en su superficie, empezando a creando una capa de biofilm. Debido a que en algunas zonas no había crecimiento biológico, el hecho del crecimiento en las probetas significa que la zona de estudio presenta una gran actividad microbiana. Quizás debido a que la zona estaba en una zona de cambio de sección y por tanto cambio de velocidades y curvas de remanso.



Figura 3.11. Muestra de un bastidor pasado 1 mes del montaje

En la figura 3.12 se puede observar una imagen de un bastidor tras tres meses des del montaje, del día 3 de junio de 2015. En ella se puede observar que algunas probetas presentan biofilm y pequeñas algas. En la figura 3.13 se puede observar, en esa misma fecha, una imagen de una de las probetas donde se aprecia crecimiento biológico y la adhesión de pequeños caracoles caracol en ella. Se pudo observar que un porcentaje inferior al 2,75% no era suficiente para la inhibición del crecimiento.



Figura 3.12. Muestra de un bastidor pasados 3 meses del montaje



Figura 3.13. Muestra de una probeta pasados 3 meses del montaje

En la visita que se realizó pasados siete meses de la actuación, como se puede observar en la figura 3.14, como el crecimiento de algas empieza a ser más importante en algunas de las probetas que en los casos anteriores. En la figura 3.15 se aprecia con más detalle la diferencia de crecimiento entre una de las probetas con crecimiento y una de las que no presentaba crecimiento.



Figura 3.14. Muestra de un bastidor pasados 7 meses del montaje



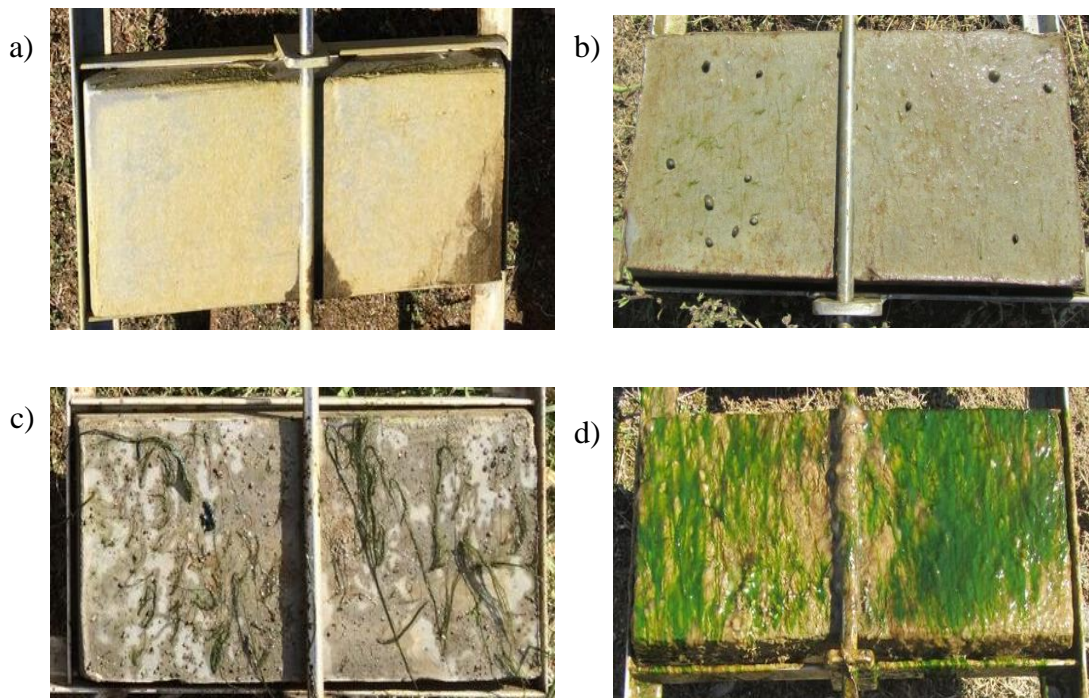
Figura 3.15. Muestra de unas probetas con crecimiento de algas

En la visita realizada el 16 de marzo de 2016, pasado un año del inicio de la fase experimental, se pudo observar que todas las probetas presentaban crecimiento biológico, aunque, algunas con mayor tasa de crecimiento que otras, llegando a cubrir en algunos casos toda la superficie de la probeta. En la figura 3.16 se puede observar el crecimiento de algas en las probetas en esa fecha.



Figura 3.16. Muestra de un bastidor pasado un año del montaje

En la figura 3.17 podemos observar la evolución del crecimiento biológico durante el tiempo que se ha estado observando hasta ahora. Se puede observar como empieza a crearse el biofilm y posteriormente empiezan a crecer algas hasta cubrir toda la superficie.



*Figura 3.17. Evolución en el tiempo del crecimiento biológico a) 26/03/2015 b) 03/06/2015
c) 25/09/2015 d) 16/03/2016*

3.3.2. Actuación en el canal de la derecha del Ebro

El tramo experimental en el canal de la derecha del Ebro se realizó en Sant Jaume d'Enveja. La actuación se llevó a cabo el 10 de abril de 2015 aprovechando que el canal estaba vacío por cuestiones de limpieza. El objetivo de esta actuación era evaluar la eficiencia del producto inhibidor analizado en un caso real. La fase experimental consistió en el recubrimiento con el producto de 8 paneles del canal, 4 en cada margen, agrupados 2 a 2 y separados por otros 2 paneles entre medio. Estas zonas habían sido limpiadas con el tractor equipado con el brazo Herder y por tal de conseguir la eliminación de la capa de biofilm, se usó agua a presión como se muestra en la siguiente figura 3.18.

El material con aditivo inhibidor usado fue el producto comercial Masterseal 6100 FX, suministrado por BASF Construction Chemicals S.A. Este producto es una membrana cementosa monocomponente con elevadas propiedades impermeabilizantes y elásticas, gracias al contenido de polímeros. El aditivo inhibidor utilizado fue el formulado PL-UV-H-3B, igual que en las actuaciones de Gavet. Cada saco de mortero se mezcló con un frasco de 750g entero de aditivo inhibidor y con unos 5-6 litros de agua, lo que simplifica el proceso de mezclado del tratamiento.



Figura 3.18. Limpieza del canal de la derecha del Ebro mediante agua a presión

Una vez limpias las áreas en las que se aplicaría el mortero con aditivo, se mezcló el saco de mortero con el aditivo y el agua con un agitador de baja revolución. Una vez amasado y preparado, se dispuso a proyectar la mezcla en los diferentes paneles del canal. Al principio, la presión no fue suficiente como para permitir un acabado definitivo del recubrimiento. Después de esto se fratasó la superficie para

homogeneizar el acabado y dejar un espesor de 1-1,5, Finalmente se pasó un cepillo para acabar de extender el recubrimiento y dejar un acabado superficial uniforme.

En la siguiente figura 3.19 se puede observar el proceso de aplicación del aditivo, se puede ver el frasco, el proceso de mezcla, la proyección y el acabado que presentó el mortero con aditivo en esa fase experimental. En esta campaña experimental no se obtuvieron los resultados esperados, por este motivo se hizo una segunda aplicación durante la parada de limpieza el 7 de abril de 2016. En esta ocasión una vez limpiado el canal, se recubrieron conjuntos de 2 paneles separados por uno entre medio, en total 6 paneles. Para esta actuación se usó el doble de aditivo que en las anteriores actuaciones (Cugat Martí, 2015).

Para esta segunda fase de experimentación, la aplicación del inhibidor se aplicó igualmente en forma de mortero proyectado. En este caso, el principio inhibidor fue del doble respecto a la actuación anterior. Se recubrieron conjuntos de 2 paneles separados por uno en medio. Para los dos primeros conjuntos de paneles se realizó un cepillado final para su acabado, en el último conjunto de paneles se dejó tal cual tras la proyección del mortero.

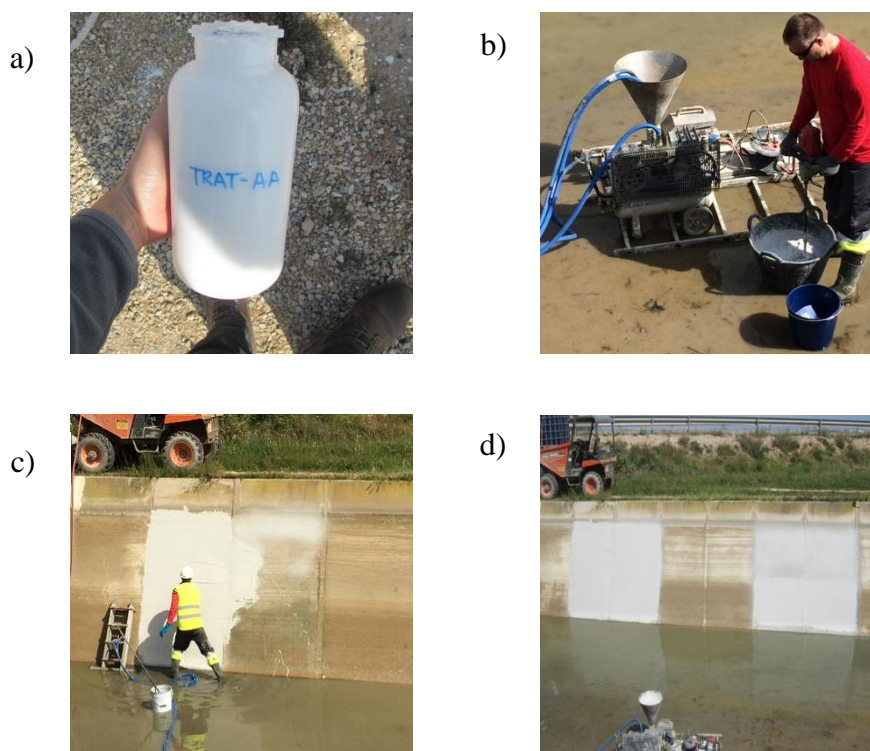


Figura 3.19. Proceso de aplicación del aditivo a) muestra del aditivo inhibidor b) proceso de mezcla con el mortero c) proyección d) aplicación terminada

En la siguiente figura podemos ver el resultado final de la actuación siendo los paneles de actuación de color blanco del mortero con el principio inhibidor. Se puede

observar como las partes de los paneles que, aunque no se aplicó el tratamiento se limpiaron, quedan de color más claro que los que no fueron limpiados y siguen teniendo la capa de biofilm.



Figura 3.20. Segunda fase experimental en el canal de la derecha del Ebro

3.4. CONCLUSIONES

De estas campañas experimentales se pudo obtener como resultado que aunque es pronto para evaluar los efectos como biocida ya que han pasado a penas tres años des de su primera aplicación en el canal de Gavet, en general, el compuesto formulado en la tesina de José María Vaquero (2013) ha sido eficiente en términos de inhibición del crecimiento biológico en los canales donde se ha probado. En general crecen menos algas en las superficies con este aditivo que en el hormigón.

Aunque en términos particulares de cada compuesto, se ha podido ver que tanto el Masterseal 325 E como el 351 no son eficientes ya que a los tres meses ya presentaba crecimiento biológico, el Masterseal 550 y el Masterseal 6100 FX han dado resultados muy positivos frente al fouling producido por las algas en los canales.

También podemos decir que este método es bastante más sencillo y barato de aplicar que la mayoría de los métodos explicados en el capítulo dos. A parte de no afectar a las propiedades del hormigón como si lo hace la limpieza manual del canal por medio de Tractores con brazos Herder.

CAPÍTULO 4

DIFERENCIAS FÍSICAS ENTRE LOS CANALES

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, debido a la gran diferencia de crecimiento biológico obtenido en los dos canales dónde se realizaron las actuaciones explicadas en el capítulo 3, se estudiarán y explicarán las diferencias físicas existentes en ambos canales, el canal de Gavet de la Conca y canal en Sant Jaume d'Enveja para intentar determinar el porqué de la diferencia en el crecimiento de algas usando los dos mismos productos, el PL-UV-H-2B y PL-UV-H-3B en ambos canales.

Las condiciones físicas que cambian en un canal respecto al otro son las siguientes: en primer lugar la temperatura, debido a que se encuentran en distintas localizaciones, la temperatura será diferente para cada canal en las distintas épocas del año. En segundo lugar, la sección y el pendiente del canal. Esto afecta directamente en la facilidad para acumularse de los sedimentos e indirectamente en la velocidad y la lámina de agua.

Los datos se han obtenido de distintas fuentes, para los valores de temperatura, los datos se han obtenido de la página de la confederación hidrográfica del Ebro (<http://www.chebro.es/>) y de la página (<http://www.AEMET.es/>); los datos, resultados e imágenes de los experimentos realizados anteriormente por la UPC, se han obtenido del trabajo realizado por *Cugat 2015*. Los datos de las secciones se han obtenido del *Col·legi oficial d'enginyers tècnics en topografia de Catalunya i Balears* para el canal de la derecha del Ebro y de *Endesa* de las secciones en Gavet de la Conca. Se ha usado

el programa HEC-RAS para poder determinar la lámina de agua que forma cada canal según las secciones analizadas en cada uno.

En éste capítulo, se seguirá el siguiente esquema: presentación y explicación de cómo cada parámetro afecta al crecimiento biológico de las algas y el posterior analizado entre los dos canales a estudiar. Por último se explicará de forma breve las conclusiones a las que se han llegado en el presente apartado. Quedando resumiendo tanto las diferencias existentes como el nivel de afectación que producen a la diferencia de crecimiento de algas.

4.2. AFECTACIÓN DE LA TEMPERATURA

Según *Alfonso Jaen, y Fernandez Gonzalez, (1985)*, el crecimiento biológico está condicionado, entre otros parámetros, por la temperatura y la cantidad de luz que recibe la planta. Para ambos parámetros existe un valor óptimo de desarrollo. Estos parámetros afectan a la fotosíntesis, a la división celular, a la asimilación de nutrientes y otros procesos relacionados. Cuando estos parámetros se mantienen, el crecimiento es exponencial.

Existen numerosos estudios sobre el efecto de estos parámetros externos en el crecimiento celular. En la figura 4.1 se muestran los resultados del estudio de *Sorokin y Krauss, (1962)* donde la tasa de crecimiento es mayor en poblaciones sincrónicas en condiciones de saturación o media saturación de luminosidad. Con intensidades muy elevadas de luminosidad, el crecimiento puede verse limitado en caso de cultivos no sincrónicos.

Como queda reflejado en el citado estudio y queda reflejado en la anterior figura, la temperatura de 35°C es la que produce una mayor tasa de crecimiento, con una velocidad de crecimiento de casi el doble de las restantes, aunque no hay diferencias significativas entre los 35 y 40 °C. Una vez llegados a los 40°C el crecimiento se ve afectado drásticamente.

La temperatura de la planta y del ambiente no es la misma debido a que las plantas son capaces de enfriarse por evaporación y de calentarse por irradiación. Las plantas buscan alcanzar su temperatura óptima, por lo que debe existir un equilibrio entre la temperatura y la luz. Con niveles elevados de luminosidad, el alga se calentará demasiado.

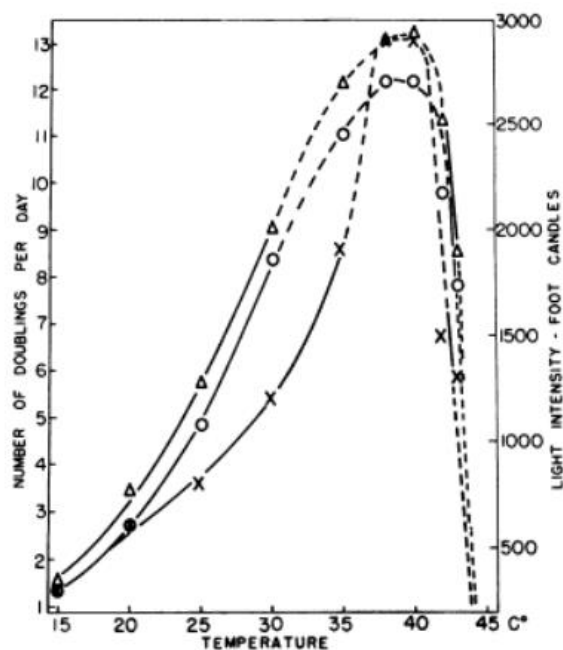


Figura 4.1. Gráfico de la evolución de las divisiones celulares por día según la temperatura y luminosidad (Sorokin y Krauss, (1962))

En lo que refiere a la luminosidad, las plantas asimilan los nutrientes gracias a la radiación solar, por tanto, el crecimiento se dará en fases diurnas. Debido a que las algas se desarrollan debajo del agua, la temperatura del agua vendrá dada por la suma del calentamiento por radiación de la luz solar y el de la transferencia entre el aire de contacto y el agua.

También se ha podido ver en el ensayo realizado por (Blasi *et al*, 2004) que la reducción de luz que llega afecta considerablemente en el crecimiento. Las zonas cubiertas con las mallas aparte de una considerable reducción en la temperatura, se consiguió un descenso de la población de algas. Como no se tienen datos de la luminosidad en los dos canales, solo podremos comparar la temperatura entre las diferentes aguas. También se pudo ver en la actuación realizada por la facultad de farmacia de la UB que el color del sustrato afecta a los niveles de crecimiento y temperatura del agua del canal, los colores oscuros reducen el crecimiento y temperatura respecto a los sustratos con colores claros.

A continuación se mostrarán las diferentes tablas y gráficos que comparan las temperaturas en los dos canales. En primer lugar, en la tabla 4.1 y la figura 4.2 se muestran las diferencias entre la temperatura ambiental y la temperatura real del agua en el canal de Gavet y en la tabla 4.2 y figura 4.3 se muestran las diferencias entre la temperatura ambiental y la temperatura real del agua en el canal de Amposta. Las comparativas, en el caso de la temperatura ambiente-agua se realizarán con los valores en las mismas fechas. Para el caso de la temperatura entre las aguas de los dos canales,

se realizará con el mismo número de valores para fechas similares dado que no el análisis de las aguas no se produjo simultáneamente.

Tabla 4.1. Diferencias d temperatura del aire y del agua en el río Noguera Pallaresa

Noguera Pallaresa			Noguera Pallaresa		
Número	Fecha	Temperatura del aire (°C)	Número	Fecha	Temperatura del agua (°C)
1	19/07/2007	31	1	19/07/2007	19,2
2	30/10/2007	12,3	2	30/10/2007	9,4
3	27/02/2008	17,3	3	27/02/2008	9,5
4	15/05/2008	17,7	4	15/05/2008	9,4
5	21/08/2008	24,7	5	21/08/2008	16,3
6	20/11/2008	11,4	6	20/11/2008	6,9
7	24/02/2009	12,2	7	24/02/2009	6,3
8	27/05/2009	24,2	8	27/05/2009	11,7
9	28/02/2013	9	9	28/02/2013	4
10	02/05/2013	19,5	10	02/05/2013	8,6
11	13/11/2013	19,6	11	13/11/2013	8,8
12	11/02/2014	6,7	12	11/02/2014	4,7
13	14/05/2014	18,1	13	14/05/2014	8,2
14	23/09/2014	16,1	14	23/09/2014	15,4
15	18/11/2014	9,4	15	18/11/2014	6,3
16	11/02/2015	3,5	16	11/02/2015	2,9
17	14/05/2015	16	17	14/05/2015	10,7
18	15/09/2015	21	18	15/09/2015	15
19	11/11/2015	8,7	19	11/11/2015	9,1

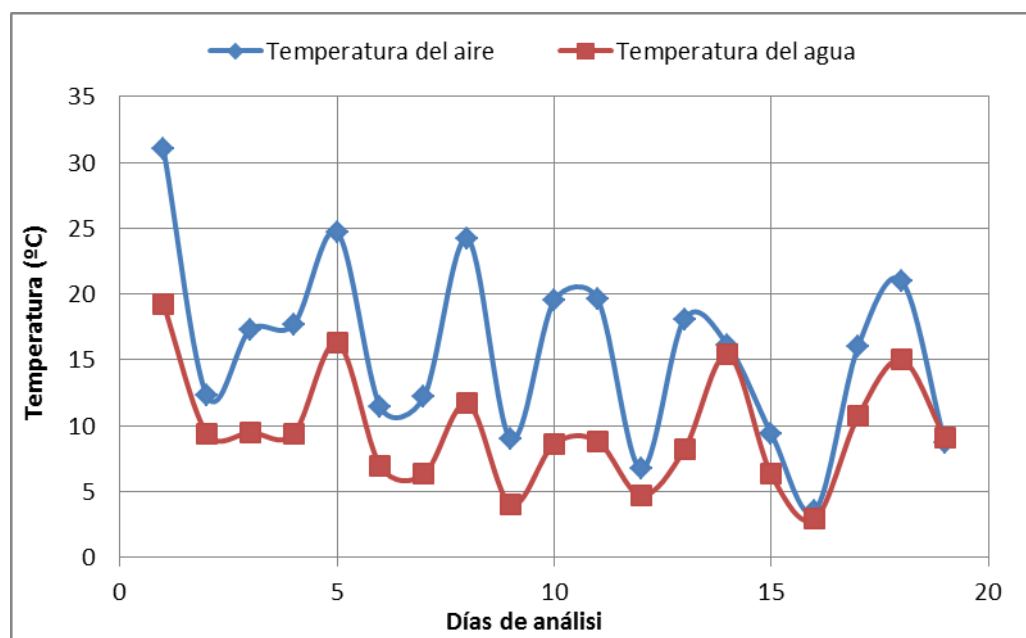


Figura 4.2. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua y del aire en el canal de Gavet

En primer lugar, se pueden observar en la tabla 4.1 y la figura 4.2 la comparación entre temperatura del aire y del agua en la Noguera Pallaresa tanto los

valores en las tablas como la gráfica comparativa. Con estos valores podremos observar que la temperatura del aire, es mayor a la temperatura del agua.

En la tabla 4.2 y figura 4.3 se puede observar la misma comparación entre temperatura del aire y del agua, esta vez en el río Ebro. Se puede observar como en general la temperatura del aire es mayor a la del agua. Se dan casos en los que la temperatura del agua, es mayor a la del aire, posiblemente debido a la radiación solar.

Tabla 4.2. Diferencias d temperatura del aire y del agua en el río Ebro

Ebro		
Número	Fecha	Temperatura del aire (°C)
1	17/09/2007	27,1
2	13/11/2007	14,9
3	18/02/2008	14,7
4	12/05/2008	19,7
5	15/09/2008	22,8
6	09/12/2008	12,9
7	17/02/2009	12,5
8	25/05/2009	28,5
9	30/10/2012	15,8
10	31/01/2013	18,2
11	18/04/2013	22,6
12	18/07/2013	28,7
13	19/12/2013	12
14	13/03/2014	16,5
15	24/06/2014	19
16	29/09/2014	27,5
17	09/12/2014	14,1
18	03/03/2015	13
19	23/06/2015	31
20	15/09/2015	28,5
21	21/12/2015	17

Ebro		
Número	Fecha	Temperatura del agua (°C)
1	17/09/2007	25,2
2	13/11/2007	15,1
3	18/02/2008	11,7
4	12/05/2008	17,8
5	15/09/2008	23
6	09/12/2008	12,2
7	17/02/2009	9,2
8	25/05/2009	22,5
9	30/10/2012	16,3
10	31/01/2013	9,2
11	18/04/2013	15,5
12	18/07/2013	22,9
13	19/12/2013	12,2
14	13/03/2014	11,7
15	24/06/2014	23,5
16	29/09/2014	24,5
17	09/12/2014	13,3
18	03/03/2015	11,2
19	23/06/2015	25,7
20	15/09/2015	25,1
21	21/12/2015	16,4

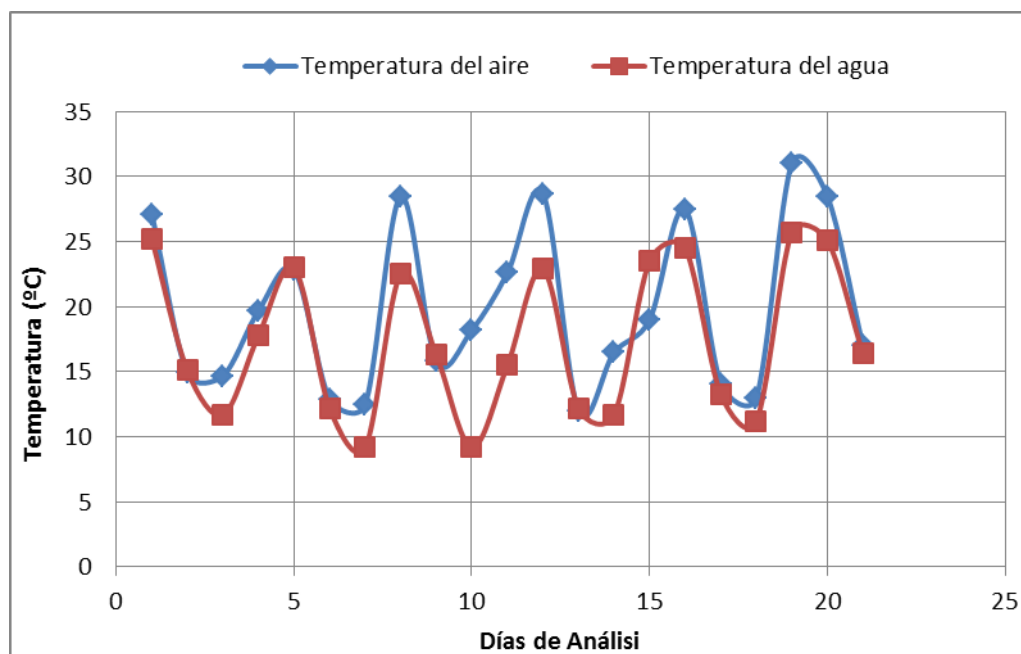


Figura 4.3. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua y del aire en el canal de Amposta

Se puede observar de las anteriores tablas 4.1 y 4.2 y de los gráficos 4.2 y 4.3, que la temperatura en Sant Jaume d'Enveja, es mayor a la de Gavet de la Conca, tanto en el agua como en el aire. De la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua, siendo mucho mayor en Gavet que en Sant Jaume, podemos deducir que gran parte de la temperatura del agua viene dado por el calentamiento debido a la luminosidad y el volumen de agua a calentar.

En la tabla 4.3 se muestra la diferencia entre temperaturas en ambos canales y finalmente un gráfico comparativo en la figura 4.4 dónde se hará la comparación de temperatura entre las aguas de los canales de Gavet de la Conca y de Sant Jaume d'Enveja.

Tabla 4.3. Diferencias de temperatura del agua en los ríos

Noguera Pallaresa			Ebro		
Número	Fecha	Temperatura del agua (°C)	Número	Fecha	Temperatura del agua (°C)
1	19/07/2007	19,2	1	26/08/2007	25
2	30/10/2007	9,4	2	13/11/2007	15,1
3	27/02/2008	9,5	3	18/02/2008	11,7
4	15/05/2008	9,4	4	12/05/2008	17,8
5	01/08/2008	19,1	5	14/07/2008	24,1
6	21/08/2008	16,3	6	15/09/2008	23
7	20/11/2008	6,9	7	09/12/2008	12,2
8	24/02/2009	6,3	8	17/02/2009	9,2
9	27/05/2009	11,7	9	25/05/2009	22,5
10	28/02/2013	4	10	31/01/2013	9,2
11	02/05/2013	8,6	11	18/04/2013	15,5
12	01/10/2013	14,6	12	26/08/2013	24,7
13	13/11/2013	8,8	13	19/12/2013	12,2
14	11/02/2014	4,7	14	13/03/2014	11,7
15	14/05/2014	8,2	15	24/06/2014	23,5
16	23/09/2014	15,4	16	29/09/2014	24,5
17	18/11/2014	6,3	17	09/12/2014	13,3
18	11/02/2015	2,9	18	03/03/2015	11,2
19	14/05/2015	10,7	19	23/06/2015	25,7
20	15/09/2015	15	20	15/09/2015	25,1
21	11/11/2015	9,1	21	21/12/2015	16,4

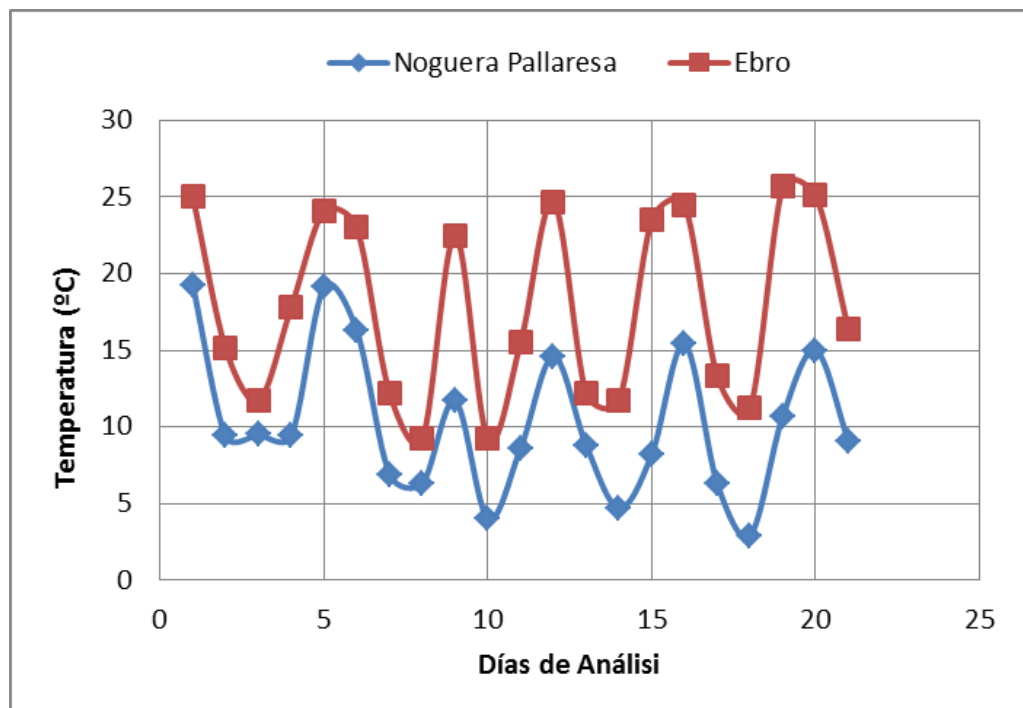


Figura 4.4. Gráfico entre las diferencias de temperatura del agua en los ríos

4.3. AFECTACIÓN DE LA SECCIÓN Y PENDIENTE

Los parámetros sección, pendiente y velocidad, van indiscutiblemente unidos entre sí. El hecho de tener una sección u otra, influye claramente en el área disponible, tanto para el transporte como para la sedimentación de nutrientes, minerales y otros compuestos biológicos además de afectar al radio hidráulico. Estos parámetros aparecen en la formulación de cálculo de la velocidad según Manning que se explicará en el apartado 4.4 de éste capítulo.

Según *Pérez Farrás, Luis E (2005)*, definimos la sedimentación como el proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Estos diámetros son:

- a) Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- b) Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- c) Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm

Estos tres estados de dispersión dan las siguientes formas de sedimentación. El primero, para diámetros mayores de 10^{-4} cm. constituye la "sedimentación simple". El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar. Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación.

En la siguiente figura 4.5 se puede observar el tamaño y velocidad de sedimentación de los distintos tipos de coloides formados.

D (mm)	Clasificación	Velocidad de Sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0,3 m.
10,0	Grava	1000,00	0,3 seg.
1,0	Grava	100,00	3,0 seg.
0,1	Arena Gruesa	8,00	38 seg.
0,01	Arena Fina	0,154	33 min.
0,001	Bacterias	0,00154	35 horas
0,001	Coloides	0,0000154	230 días
0,0001	Coloides	0,000000154	63 años

Figura 4.5. Tabla de velocidades de sedimentación (Pérez Farrás, Luis E (2015))

En la figura 4.6 se puede ver el radio atómico y masa atómica de los elementos químicos esenciales para la formación de los distintos nutrientes. La unidad de medida del radio atómico es el picómetro (pm), correspondiente a 10^{-12} m. La unidad de medida de la masa atómica, es la unidad de masa atómica (u) o Dalton (Da), se define como como la doceava parte de la masa de un átomo de carbono-12, en su estado fundamental. Según el Comité de Información para Ciencia y Tecnología (CODATA) equivale a $1,660\,538\,92 \cdot 10^{-27}$ kg.

Clasificación	Radio atómico (pm)	Masa atómica (u)
Calcio	194	40,078
Carbono	67	12,0107
Cloro	100	35,453
Fósforo	100	30,973762
Magnesio	150	24,31
Nitrógeno	65	14,0067
Oxígeno	60	15,9994
Sodio	180	22,98976928
Azufre	100	32,065

Figura 4.6. Tamaño de los elementos químicos fundamentales para la formación de nutrientes

Como se puede apreciar, el tamaño de los elementos es mucho menor al de los sedimentos. Aun uniéndose para formar iones, su masa y tamaño es insignificante comparado con el de los sedimentos. Según Stanley (2007) los sedimentos tienden a adherirse a los elementos químicos para una mejor sedimentación. Por tanto, podemos determinar que la sedimentación de los nutrientes va ligada intrínsecamente a la sedimentación de partículas mayores.

4.3.1. Sección

La sección de un canal influye de distintas formas al crecimiento. En términos de sedimentación, el tener una sección con los hastiales verticales o más horizontales implica tener menor o mayor superficie posible para la sedimentación, además de tener mayor recorrido entre la molécula y la superficie del canal. La distancia a recorrer de una molécula en un hastial oblicuo difiere entre los distintos puntos del hastial. En los puntos con mayores recorridos, la distancia podría ser lo suficiente grande y la velocidad lo suficientemente pequeña como para que la partícula no llegue a sedimentar.

Otra forma en la que influye la sección es en la altura de los hastiales. La cantidad de luz que les llega a las algas dependerá de lo alto que sea el canal. Cuanto más alto sea, menos intensidad lumínica recibirá. Tener mayor o menor área total, afecta implícitamente en el cálculo del radio hidráulico y por tanto tiene una afectación importante en la velocidad. El tener cambios de sección en un canal afecta también a la lámina de agua que se crea.

Los cambios de sección también afectan a la lámina de agua. Los cambios de sección, igual que los cambios de pendiente pueden modificar la lámina de agua, pudiendo hacer cambiar de régimen el agua. El cambio de régimen lento a régimen rápido provoca un resalto hidráulico. El salto hidráulico presenta una ascensión abrupta del calado, convirtiendo parte de la energía cinética en energía potencial y sufriendo una pérdida de energía en forma de calor.

Como se observa en la siguiente figura obtenida del web laboratorio de ingeniería hidráulica de la Universidad de Cartagena, el resalto hidráulico aparte de generar calor, genera turbulencias, estas permanecen hasta que el canal se estabiliza y genera una oxigenación del agua que favorece al crecimiento de las algas en periodos nocturnos.

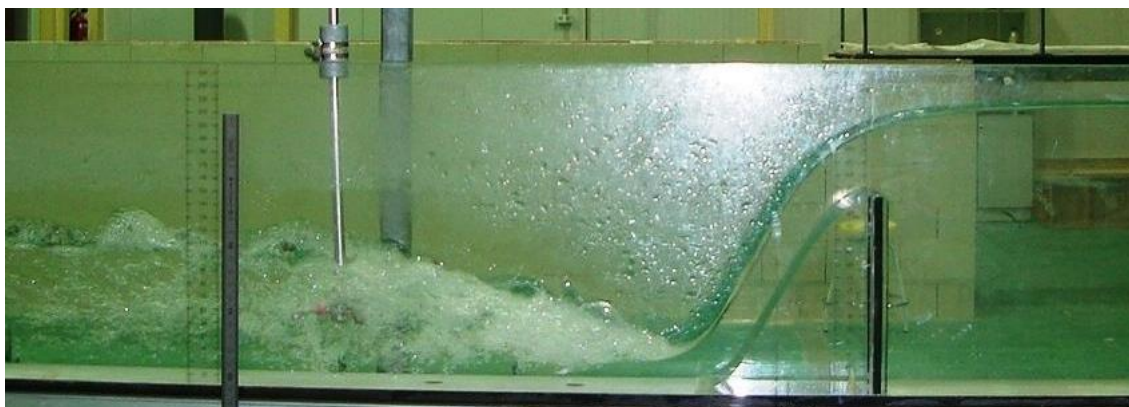


Figura 4.7. Imagen de un resalto hidráulico (Laboratorio de Ingeniería hidráulica UPCT)

Según *Ryding y Rast (1992)* los sedimentos acumulados juegan un papel importante en el crecimiento de las plantas, pues actúan como sumidero neto para los nutrientes. Las características mineralógicas dependen del país o situación geográfica de dónde procedan los sedimentos. Estos minerales ayudaran de mayor o menor forma en el crecimiento biológico.

De acuerdo con la figura 4.5, la velocidad de sedimentación para diferentes tamaños de partículas es distinta. La sedimentación se produce cuando el sedimento afectado por la gravedad encuentra una superficie total o parcialmente horizontal en la que reposar.

En un canal con hastiales inclinados el sedimento encuentra una superficie dónde reposar antes que en un canal con hastiales verticales, que solo la encuentra cuando acaba en el fondo. Una vez las partículas quedan sedimentadas en los hastiales, el aumento de peso debido a la formación de “flocs”, la inercia que se genera y la velocidad horizontal, provoca que las partículas se desplacen y lleguen al fondo. En los canales con hastiales verticales, las partículas más pequeñas al tener que recorrer toda la altura del canal, su poca masa y el no poder adherirse a partículas mayores ya sedimentadas, la velocidad horizontal es suficientemente grande como arrastrarlas hasta el desemboque final del agua.

En las figuras 4.8 y 4.9 se muestran las fases del proceso de sedimentación que sufren las diferentes partículas. En la primera de ellas el estado inicial de sedimentación de las partículas y en la segunda el estado final resultado del movimiento debido a la formación de “flocs” y a la velocidad.

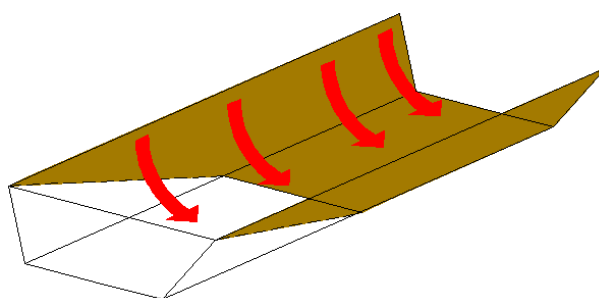


Figura 4.8. Primera fase de sedimentación

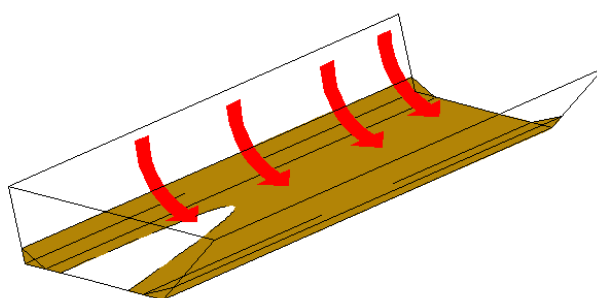


Figura 4.9. Segunda fase de sedimentación

Para poder observar las diferencias de sección existentes en ambos canales, se han escogido las secciones facilitadas tanto por *Endesa* para las secciones en Gavet de la Conca y por el *Col·legi oficial d'enginyers tècnics en topografia de Catalunya i Balears* para el canal de la derecha del Ebro. En la figura 4.10 se observan tres diferentes secciones en el canal de Gavet de la Conca, correspondientes a los PK 1,300, 2,480 y 2,700.

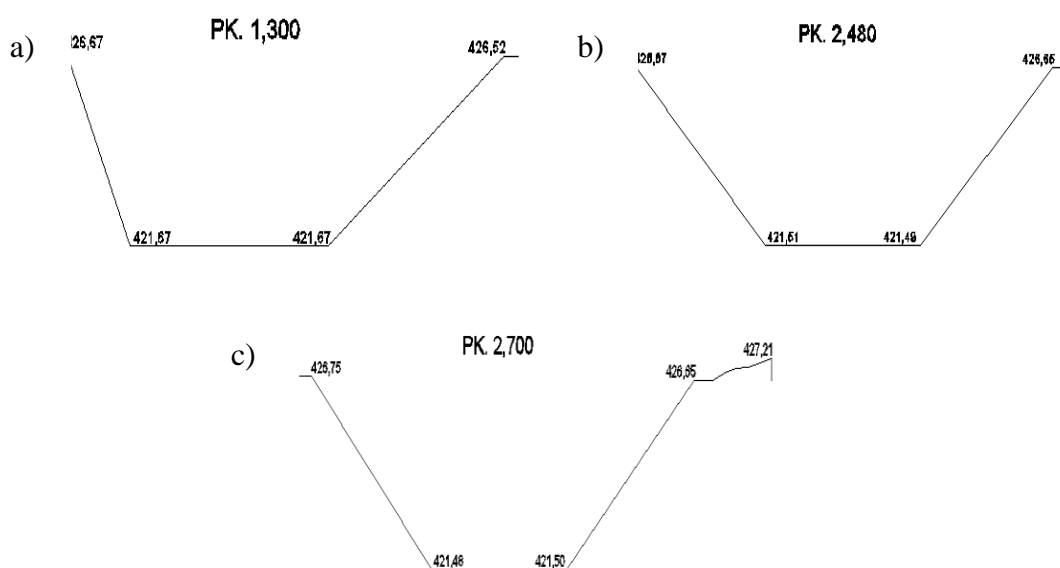


Figura 4.10. Secciones en el Canal de Gavet a) PK 1,300 b) PK 2,480 c) PK 2,700

En la siguiente figura 4.11 se muestran dos secciones diferentes para el canal de la derecha del Ebro, en los tramos de Xerta y Amposta.

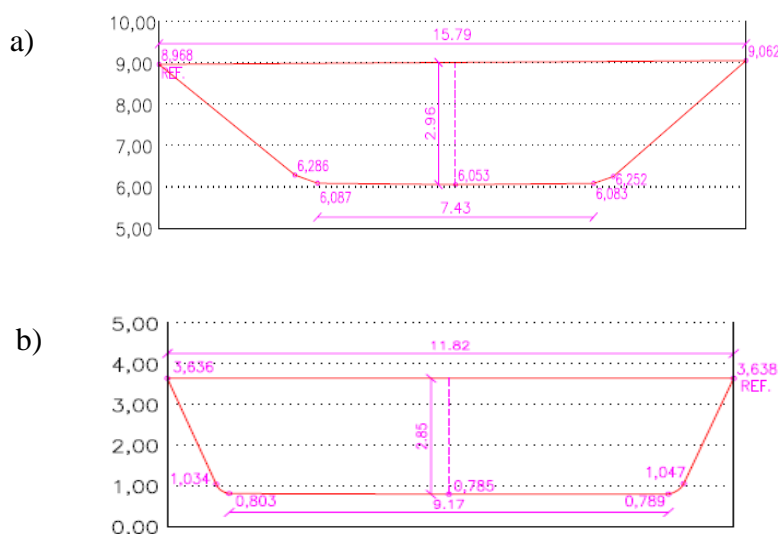


Figura 4.11. Secciones en el Canal de la derecha del Ebro a) sección en Xerta b) sección en Amposta

Como se aprecia en las figuras anteriores, las dos últimas secciones en Gavet de la Conca son similares, la sección en el PK 2,700 es mayor en anchura que la sección en el PK 2,480. Por tanto en Gavet se espera que haya más sedimentos en el PK 2,700, la sección en el PK 1,300 presenta uno de los hastiales más vertical y se espera que haya menos sedimentos.

Por otra parte, en el canal de la derecha del Ebro, se puede apreciar un cambio significativo entre las dos secciones. La primera de ellas, tiene los hastiales mucho más horizontales que el segundo de ellos. La segunda sección presenta unos hastiales mucho más verticales, factor que disminuye la posibilidad de sedimentación.

4.3.2. Pendiente

La pendiente de un canal afecta en la determinación de la velocidad. Tener más o menos pendiente determina una curva de remanso que a su vez determina el régimen en que se encuentra el canal. Régimen rápido si tiene mucha pendiente (curvas tipo S) y régimen lento si tiene poca (curvas tipo M).

Según Zamorano García (2004) y GITS (n.d), las curvas de remanso se agrupan según diferentes tipos. Estas clasificaciones pueden hacerse de dos formas, la primera, calculando el número de Froude y comparando si es mayor, menor o igual a uno. En caso de ser menor a la unidad, el régimen es lento, si es igual a la unidad, el canal esta en régimen crítico y por último, si el número de Froude es mayor a uno, el régimen es

rápido. En la siguiente figura 4.12 podemos observar la clasificación del régimen dependiendo del número de Froude.

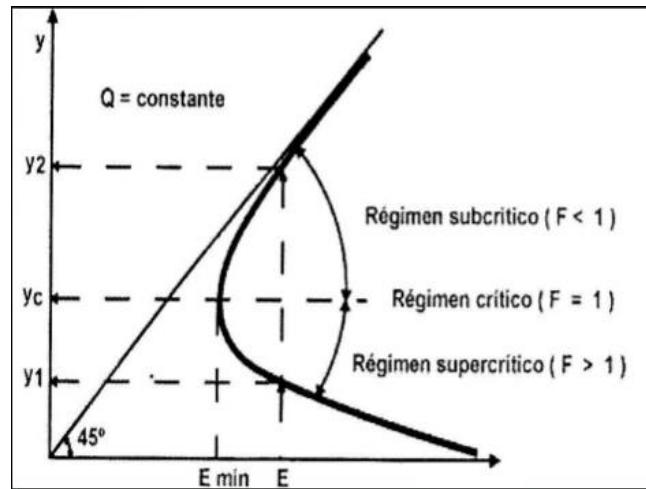


Figura 4.12. Gráfico del número de Froude

El otro sistema para saber el régimen de un canal es comparando el calado del canal con el calado crítico. En caso de ser mayor, el canal se encuentra en régimen lento, si el calado es igual al crítico, se encuentra en régimen crítico y si el calado es inferior, tenemos un régimen rápido. En la figura 4.13 se muestra la clasificación de dichas curvas de remanso con el método de los calados.

Suave (Mild)	$\Rightarrow y_n > y_c ; I_o < I_{ci} \Rightarrow$	En principio régimen lento.
Fuerte (Strong)	$\Rightarrow y_n < y_c ; I_o > I_{ci} \Rightarrow$	En principio régimen rápido.
Crítico	$\Rightarrow y_n = y_c$	\Rightarrow En principio régimen crítico.
Horizontal	$\Rightarrow I_o = 0 \text{ e } y_n = \infty$	\Rightarrow En principio régimen lento.
Adversa (Adverse)	$\Rightarrow I_o < 0 \text{ e } y_n = \infty$	\Rightarrow En principio régimen lento.

Figura 4.13. Clasificación de las curvas de remanso

Para conocer el tipo de régimen en el que se encuentran los diversos tramos del canal, se usará el método de Froude. El número de Froude se calcula como se muestra a continuación en la ecuación 4.1, donde v es la velocidad en m/s, g es la gravedad e y el calado del canal.

Ecuación [4.1]

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y}}$$

Debido a que se tienen velocidades diferentes según el posible calado y coeficiente de Manning (como se verá en el apartado referente a las velocidades) se ha realizado el cálculo para todas las posibilidades de rugosidad y calado y también se ha determinado la velocidad mínima que debería alcanzar el agua en cada sección para cambiar de régimen. En la siguiente tabla 4.4 se mostrarán los resultados.

Tabla 4.4. Resultados de la aplicación del número de Froude

Sección	Nº Froude Max	Régimen	Velocidad (m/s) cambio de régimen
Gavet PK 1,300	0,355284051	Lento	5,3
Gavet PK 2,480	0,34630352	Lento	5,3
Xerta	0,38753601	Lento	3,5

Como podemos ver, el régimen en ambos canales es lento. A partir de velocidades de 5,3 m/s en Gavet y 3,5 en Xerta tendríamos cambio en el régimen del canal.

Canal de Gavet de la Conca

Paralelamente a la afección que tiene en el régimen del canal, el pendiente es un parámetro incluido en la fórmula propuesta por Manning. Por tanto mayor o menor pendiente afecta directamente al cálculo de la velocidad. Para el caso del canal de Gavet de la Conca, en el tramo comprendido entre el PK 1,300 y el PK 2,480 tenemos un pendiente de 0,00016 y en el tramo entre el PK 2,480 y el PK 2,700 tenemos un pendiente de 0,00014.

Con estos valores de pendiente y de sección, podemos esquematizar en el programa HEC-RAS la lámina de agua para saber en qué tipo de régimen se encuentra esa parte del canal. Para el canal de Gavet usamos los tramos comprendidos entre los PK 1,300 – PK 2,480 y el tramo entre los PK 2,480 – PK 2,700, una longitud total de 1400 m.

Para realizar el esquema de la lámina de agua, se necesitan las secciones del canal, el valor del coeficiente de Manning, el caudal de agua y la altura del calado desde el suelo.

Para la determinación de las láminas de agua se realizará con tres coeficientes de Manning correspondientes a los dos extremos (0,012 y 0,022) y un valor intermedio de 0,017. Para cada uno de estos valores se calculara el caudal como se muestra en la ecuación 4.2.

Ecuación [4.2]

$$Q = A \cdot V$$

Siendo:

Q = caudal, calculado en m^3/s

A = Área de la sección en m^2

V = velocidad del agua en m/s

El área a usar será la correspondiente al del calado medio, en caso del canal de Gavet, tenemos un intervalo de datos dado por *Endesa* con los calados de servicio.

La velocidad usada será la media de las velocidades para ese coeficiente de rugosidad. El cálculo de velocidades se realizará en el apartado 4.5. En la siguiente tabla se muestran los datos que se usarán para realizar el cálculo de la lámina de agua en el canal de Gavet de la Conca.

Tabla 4.5. Parámetros usados para la determinación de la lámina de agua en el canal de Gavet

Coef. Rugosidad	Velocidad media	calado	Área	Caudal
0.012	2	3.65	42.705	85.41
0.017	1.4289			61.03
0.022	1.1041			47.16

En las siguientes figuras se mostrará tanto las secciones transversales como longitudinales de la lámina de agua para los datos mostrados en la tabla 4.8. Cabe destacar que el programa HEC-RAS considera el flujo de derecha a izquierda.

En primer lugar, podemos ver en las figuras 4.14 y 4.15 las secciones transversales y longitudinales del canal de Gavet de la Conca para el coeficiente de rozamiento de Manning menor, de 0,012. Estas imágenes son posteriores al cálculo de la lámina de agua con el programa HEC-RAS, por tanto, se puede ver en ellas el área de agua que tendría el canal para esa situación.

La primera de ellas muestra las secciones transversales en cada PK, podemos en la sección correspondiente al PK 2,700 como la lámina de agua está muy por encima del calado crítico, mostrado en línea discontinua y roja, situándose aproximadamente a los 2,5 m de calado.

Por tanto, siendo el calado crítico muy inferior al calado normal de agua, podemos decir con toda seguridad, y verificando los cálculos realizados con el número

de Froude, que el régimen del canal es lento para esa rugosidad, y por tanto una curva de tipo M.

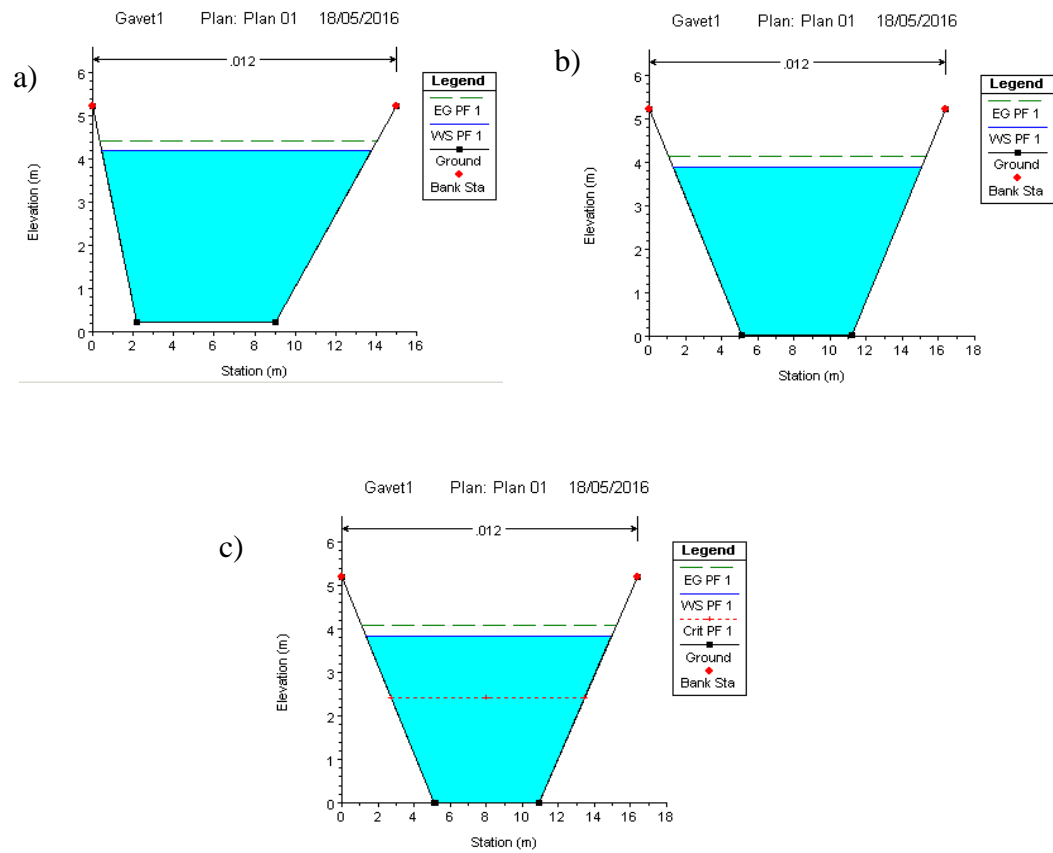


Figura 4.14. Secciones con los datos de rugosidad de 0,012 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700

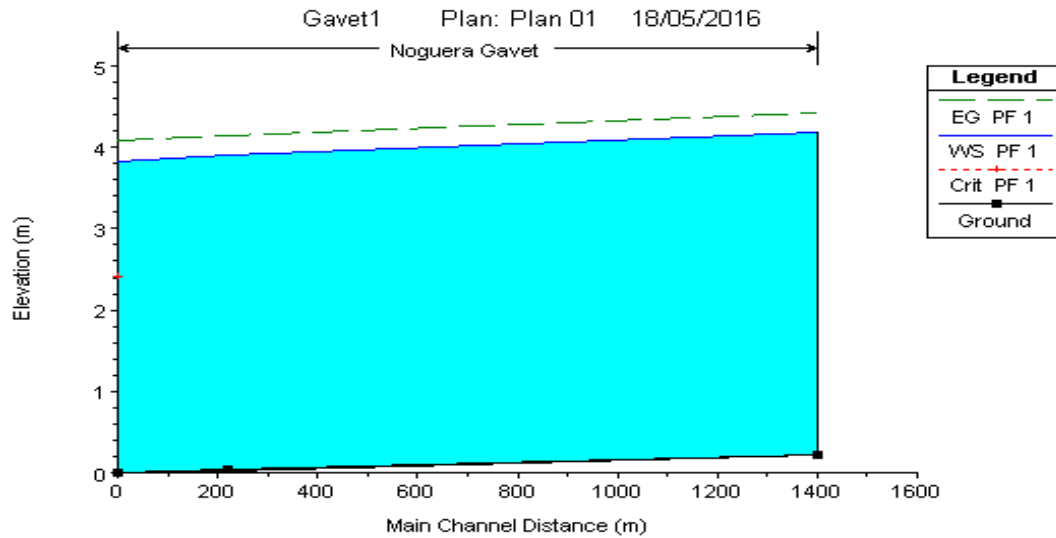


Figura 4.15. Lámina de agua para la rugosidad de 0,012 (curva de remanso tipo M)

En las siguientes figuras, podemos ver las secciones transversales y longitudinales del canal de Gavet de la Conca para el coeficiente de rozamiento de Manning menor, de 0,017. Igual que en las anteriores, podemos ver que se encuentra en régimen lento.

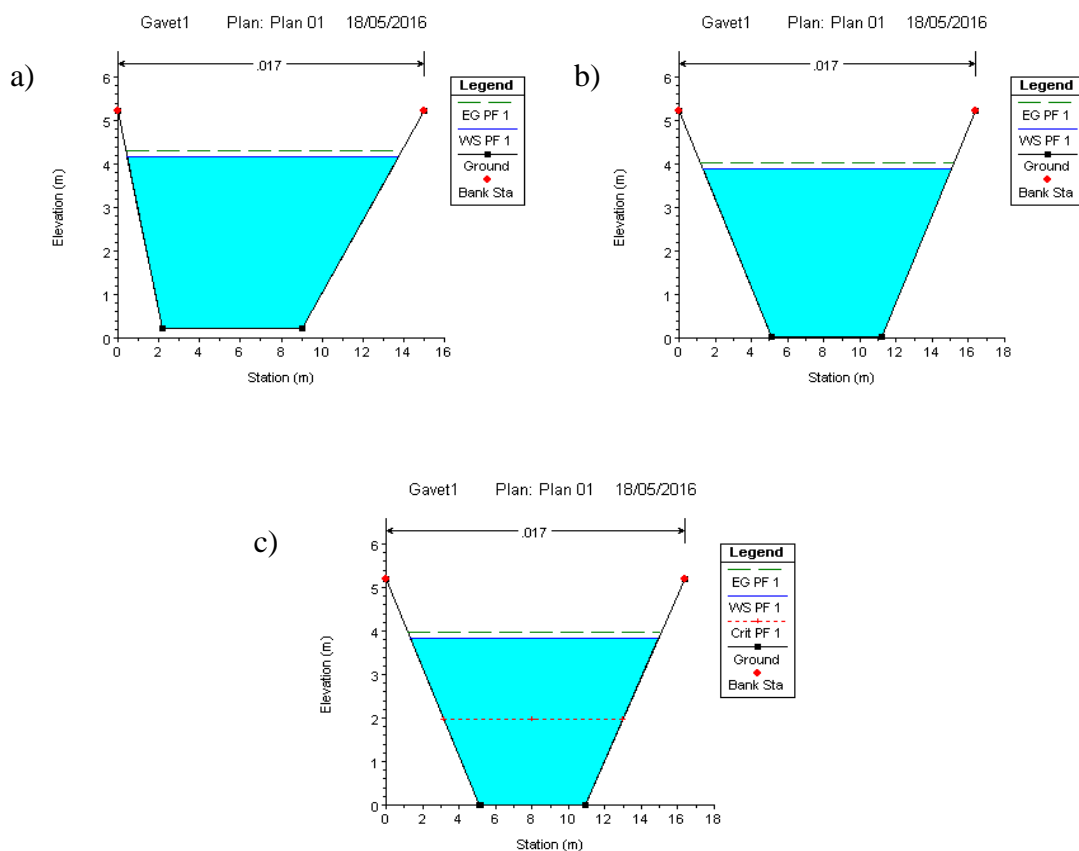


Figura 4.16. Secciones con los datos de rugosidad de 0,017 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700

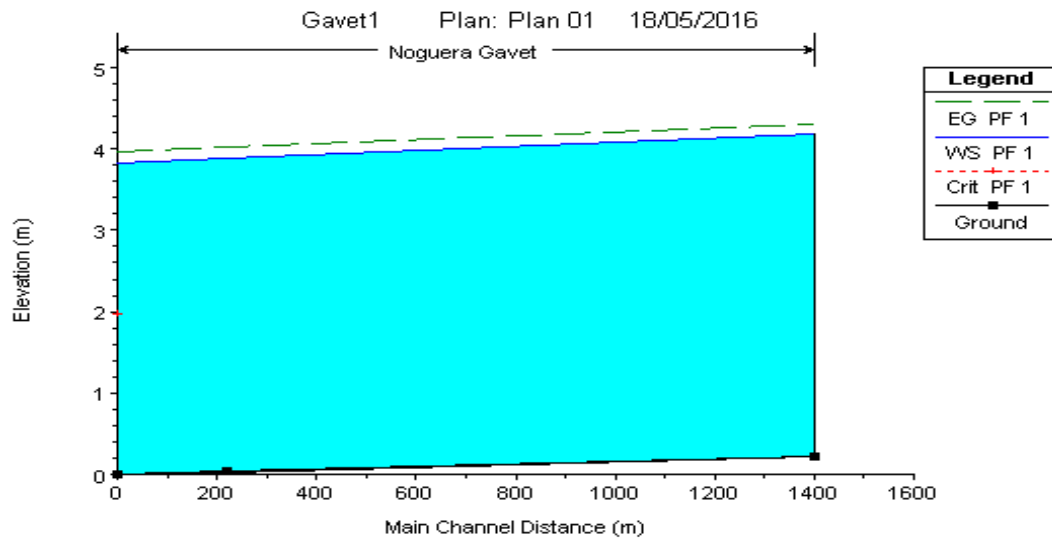


Figura 4.17. Lámina de agua para la rugosidad de 0,017 (curva de remanso tipo M2)

En las siguientes figuras, podemos ver las secciones transversales y longitudinales del canal de Gavet de la Conca para el coeficiente de rozamiento de Manning menor, de 0,022. Igual que en las anteriores, podemos ver que se encuentra en régimen lento.

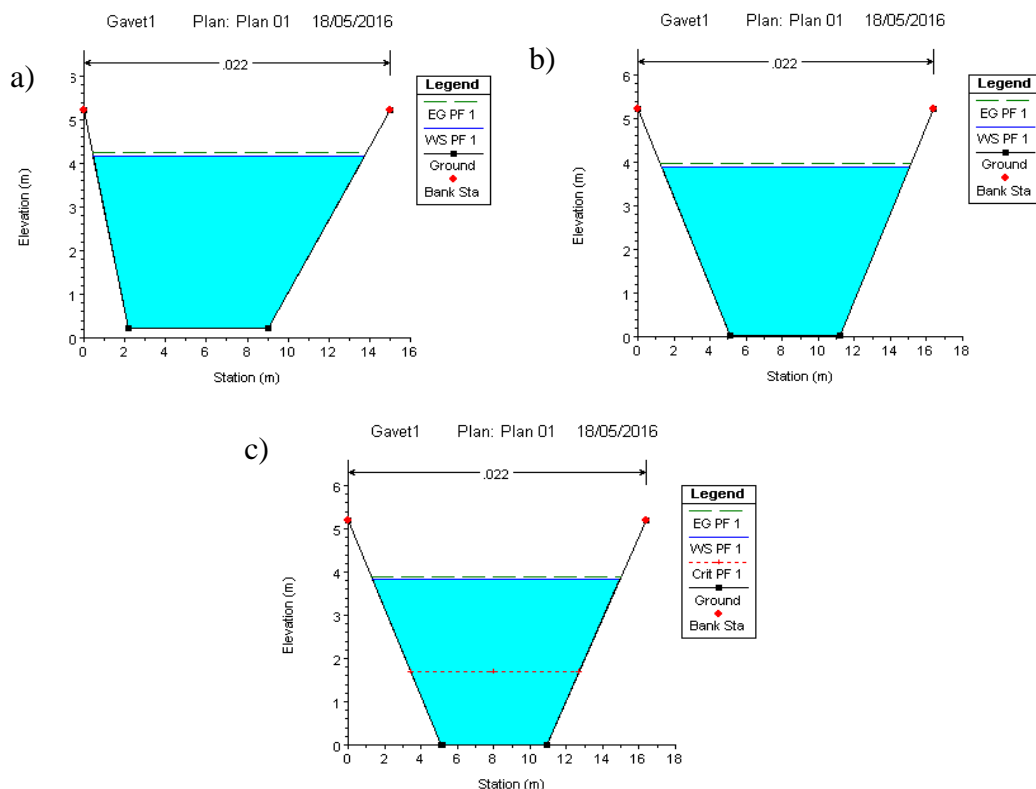


Figura 4.18. Secciones con los datos de rugosidad de 0,022 a) corresponde al PK 1,300 b) corresponde al PK 2,480 y c) al PK 2,700

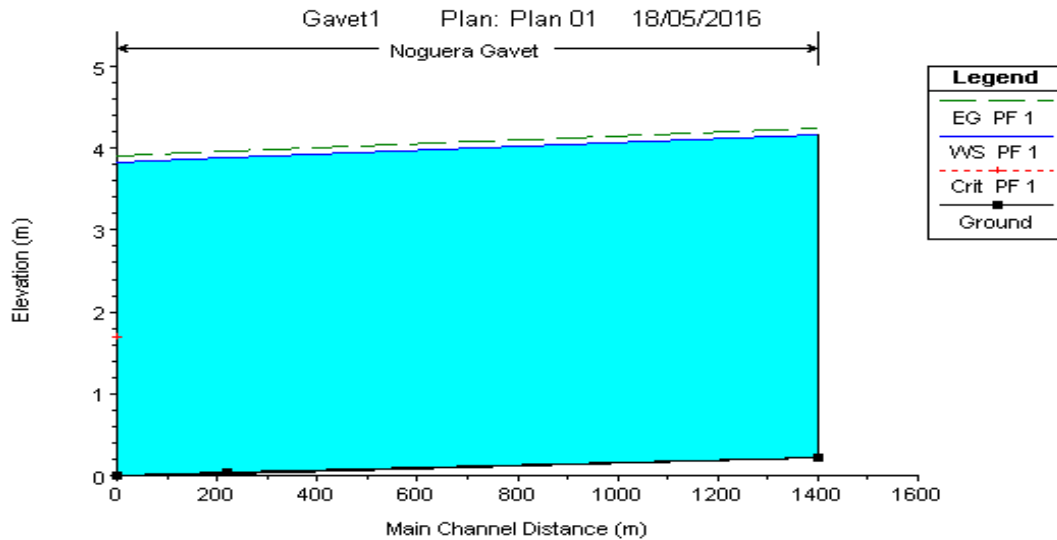


Figura 4.19. Lámina de agua para la rugosidad de 0,022 (curva de remanso tipo M2)

Como se puede ver en las figuras anteriores, el canal para esas condiciones se encuentra en un régimen lento en toda su totalidad, siendo la lámina de agua en todo el canal una curva de remanso de tipo M.

Canal de la derecha del Ebro

Para el caso del canal de la derecha del Ebro, el tramo a estudiar se encuentra entre Xerta y Amposta, con una longitud total de 28631,66898 m y un pendiente de 0,000185. La base del canal en Xerta se encuentra 5,29 m por encima de la base en Amposta.

Con estos valores de pendiente y de sección, podemos esquematizar en el programa HEC-RAS la lámina de agua para saber en qué tipo de régimen se encuentra esa parte del canal. Para realizar el esquema de la lámina de agua, el programa HEC-RAS pide distintos parámetros. Pide las secciones del canal, el valor del coeficiente de Manning, el caudal de agua y la altura del calado desde el suelo.

Para la determinación de las láminas de agua se realizará con tres coeficientes de Manning correspondientes a los dos extremos (0,012 y 0,022) y un valor intermedio de 0,017. Para cada uno de estos valores se calculara el caudal como se ha mostrado anteriormente fórmula 4.1.

Para el caso del caudal, se usará la fórmula mostrada en anterioridad para el canal de Gavet de la Conca. El área a usar será la correspondiente al del calado medio, en caso del canal de Amposta, dada la geometría del canal, estableceremos una horquilla de calados de uso de entre 1,25 m y 2,4 m y usaremos un valor medio del calado de 1,85 m para realizar los cálculos de área, velocidad y caudal.

La velocidad usada será la media de las velocidades para ese coeficiente de rugosidad. El cálculo de velocidades se realizará en el apartado 4.4. En la siguiente tabla se muestran los datos que se usarán para realizar el cálculo de la lámina de agua en el canal de la derecha del Ebro y seguidamente, se mostrarán 6 figuras correspondientes a las secciones transversales y longitudinales para cada tipo de rugosidad.

En las siguientes figuras se mostrará tanto las secciones transversales como longitudinales de la lámina de agua para los datos mostrados en la tabla 4.6. Como se ha comentado anteriormente, el programa HEC-RAS considera el flujo de derecha a izquierda.

Tabla 4.6. Parámetros usados para la determinación de la lámina de agua en el canal de la derecha del Ebro

Coef. Rugosidad	Velocidad media	calado	Área	Caudal
0.012	1.6779	1.85	21.226	35.62
0.017	1.1844			25.15
0.022	0.9153			19.43

En las figuras 4.20 y 4.21 se puede observar las secciones transversales y la sección longitudinal del canal de la derecha del Ebro para el coeficiente de rugosidad de 0,012. En este caso, el calado al principio es superior al crítico, por tanto régimen lento y al final, el calado casi llega a calado crítico, por tanto se desarrolla una curva de tipo M en régimen lento hasta llegar a calado crítico.

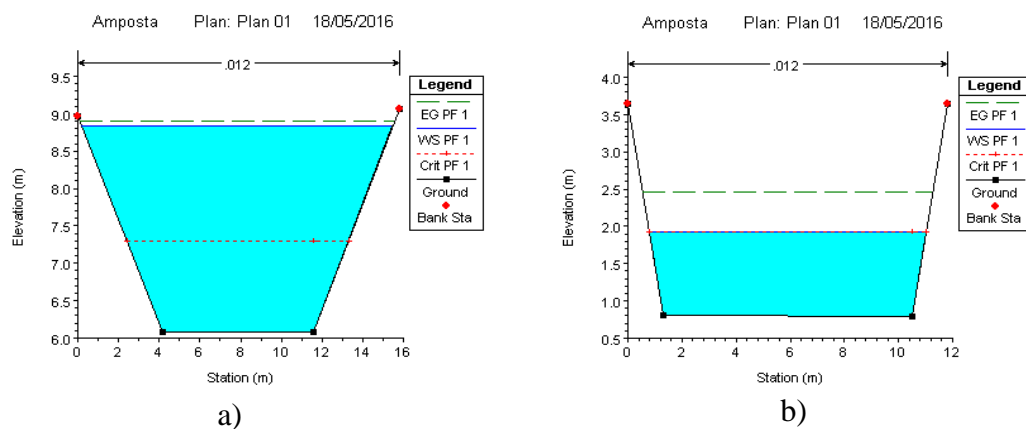


Figura 4.20. Secciones con los datos de rugosidad de 0,012 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta

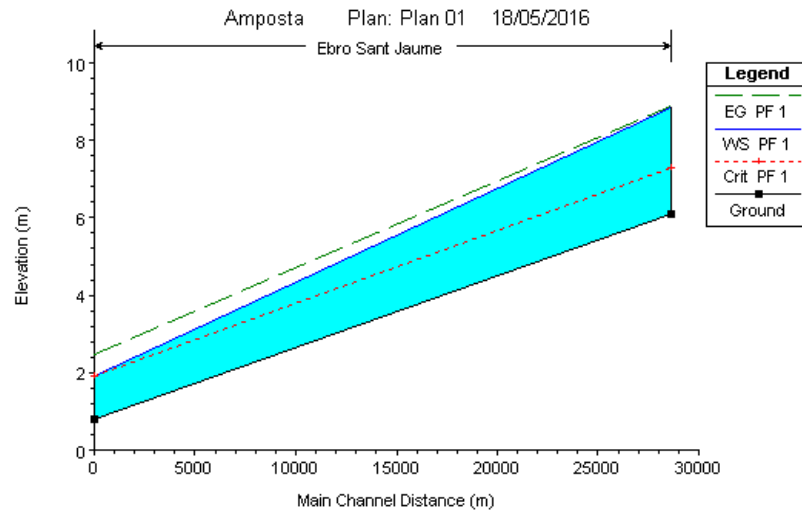


Figura 4.21. Lámina de agua para la rugosidad de 0,012 (curva de remanso tipo M2)

En las figuras 4.22 y 4.23 se puede observar las secciones transversales y la sección longitudinal del canal de la derecha del Ebro para el coeficiente de rugosidad de 0,017. En este caso, en la primera sección, el calado está muy por encima del calado crítico, casi desbordando el canal. En la segunda sección esta vez no llega a calado crítico pero está muy cercano a él.

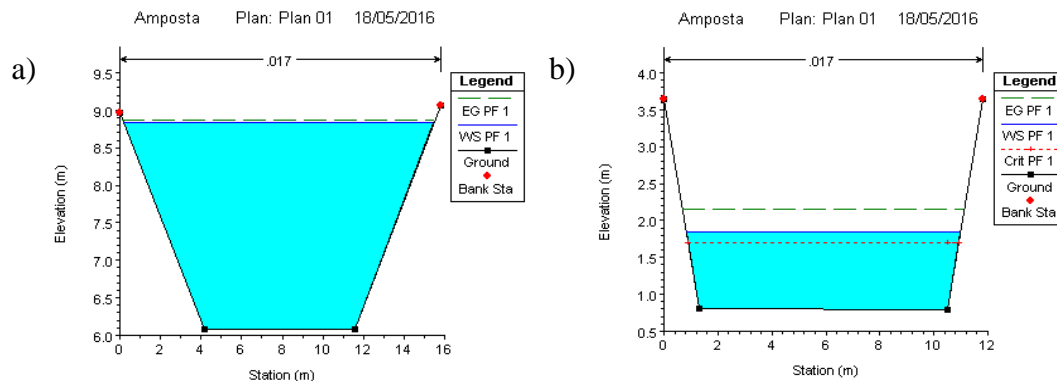


Figura 4.22. Secciones con los datos de rugosidad de 0,017 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta

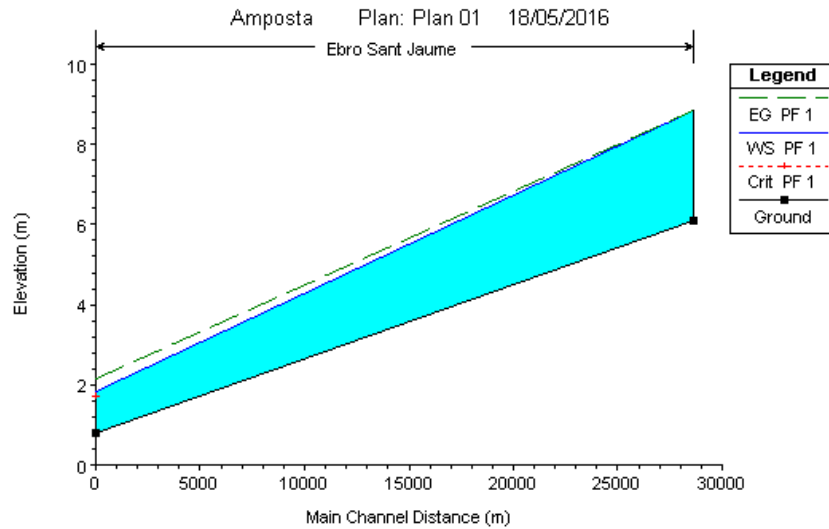


Figura 4.23. Lámmina de agua para la rugosidad de 0,017 (curva de remanso tipo M)

En toda la longitud del canal, para este coeficiente de Manning se desarrolla una curva de remanso del tipo M y por tanto en régimen lento. Se puede ver la evolución del canal, estando prácticamente el agua desbordando el canal hasta quedar ligeramente por encima del calado crítico.

En las figuras 4.24 y 4.25 se puede observar las secciones transversales y la sección longitudinal del canal de la derecha del Ebro para el coeficiente de rugosidad de 0,022. Este caso es muy similar al anterior, en la primera sección, el calado está muy por encima del calado crítico, casi desbordando el canal. En la segunda sección esta vez tampoco llega a calado crítico aunque esta vez, no está tan cercano al valor crítico.

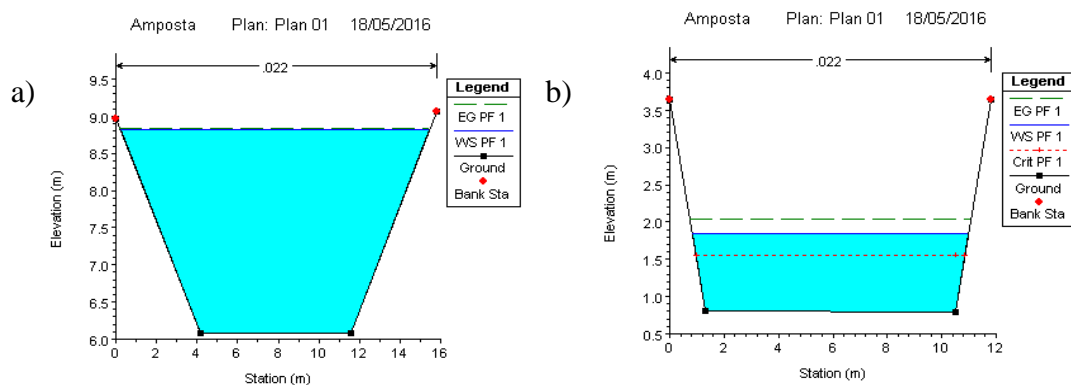


Figura 4.24. Secciones con los datos de rugosidad de 0,022 a) corresponde a la sección en Xerta b) corresponde a la sección en Amposta

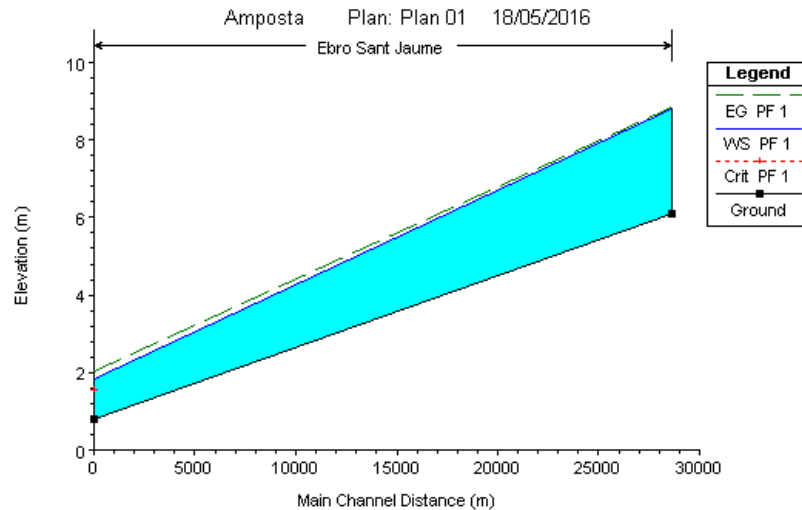


Figura 4.25. Lámina de agua para la rugosidad de 0,022 (curva de remanso tipo M)

Como se puede observar en las distintas figuras, las curvas de remanso son parecidas en ambos canales y por tanto ambos canales en régimen lento. Aunque en el canal de Gavet no se acabe de apreciar del por la poca longitud de las que se tienen secciones.

4.4. VELOCIDAD

La velocidad de un canal, calculada con la ecuación de Manning, viene dada por los siguientes parámetros, coeficiente de Manning (rugosidad), pendiente, sección y el caudal de agua. Bajas velocidades pueden provocar la sedimentación excesiva de las partículas, generando una base de nutrientes para el crecimiento biológico, por el contrario, una velocidad excesiva del agua provoca erosión en los paramentos del canal, este desgaste del paramento hace que la superficie sea más rugosa y por tanto, mayor facilidad para la formación de la biopelícula y para la adhesión de las algas.

Por tanto, la velocidad adecuada para el buen funcionamiento del canal y para evitar el crecimiento biológico, debe estar comprendida entre ciertos valores que aseguren que las partículas no sedimenten y que no se produzca abrasión del paramento. Según *Almazán Gárate, J.L., A.T.H.A (n.d)* para afluentes que contienen arenas, la velocidad de diseño para evitar la erosión es de 2 ó 3 m/s aunque según *Sviatoslav, K. (1978)*, la velocidad máxima para la no abrasión no debe llegar a 2 m/s y la mínima para que no sedimenten las partículas debe ser de 0,45 m/s.

En cuanto al número de Manning se refiere, según *Chow V.T. (1994)* y *French, Richard H. (1988)*, el hormigón puede tener distintos números de Manning, normalmente se encuentran entre 0,013 y 0,022, dependiendo de la ejecución, tipo de áridos, acabados etc.

A continuación se calculará la velocidad de los dos canales con la fórmula de Manning mostrada en la ecuación 4.3, los cálculos se realizarán según el pendiente que se ha obtenido entre varios puntos del canal, con las diferentes secciones que existen en cada canal, con distintos coeficientes de Manning comprendidos entre los valores que se han expuesto con anterioridad y con distintos calados posibles en casos normales de funcionamiento.

Ecuación [4.3]

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde n equivale al coeficiente de Manning dependiente de la rugosidad, R es el radio hidráulico que se obtiene de la división del área mojada entre el perímetro mojado i S es el pendiente del canal. En nuestro caso, los canales presentan varias secciones, sección rectangular y sección trapezoidal, en las siguientes figuras 4.26 y 4.27 se mostrará el tipo de sección y la fórmula de cálculo del radio hidráulico para cada sección.

Las unidades del radio hidráulico son el metro. El cálculo de dicho parámetro queda reflejado en la ecuación 4.4 mostrada a continuación. Para mejor entendimiento de los parámetros que se usan para su cálculo, en la figura 4.26 se muestran los distintos parámetros de la sección del canal que se usan en el cálculo.

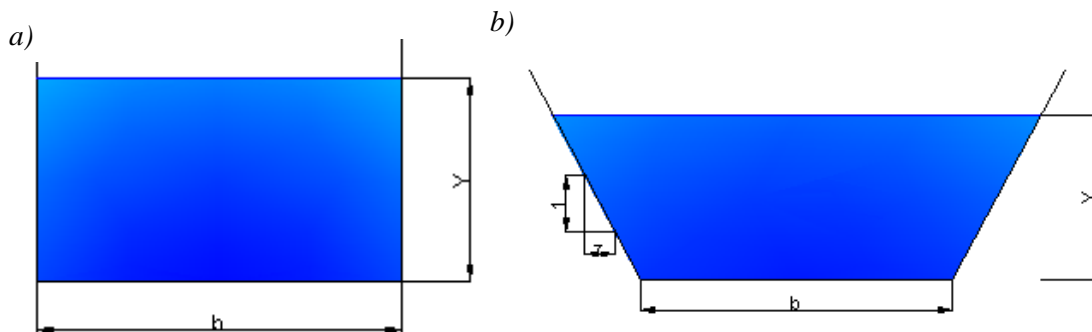


Figura 4.26. Muestra de secciones de canales a) sección cuadrada b) sección trapezoidal

Ecuación [4.4]

$$Rh = \frac{by}{b + 2y}$$

a)

$$Rh = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$$

b)

Canal de Gavet

Para el canal de Gavet de la Conca analizaremos la velocidad entre las secciones de los PK: 1,300 - 2,480 y el tramo entre las secciones con PK: 2,480 - 2,700. Para el tramo comprendido entre estas secciones quedarán determinados unos parámetros, tanto de pendiente como del comportamiento de la lámina de agua. En las siguientes figuras 4.27, 4.28 y 4.29 se mostrarán las dos secciones obtenidas para el canal de Gavet de la Conca y en las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se mostrarán los datos que se tienen de dichas secciones.

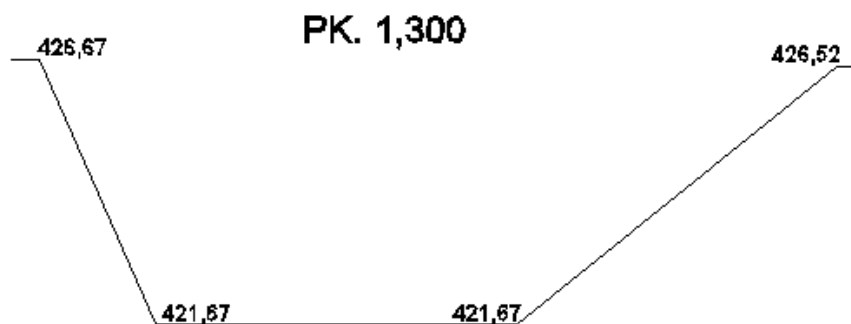


Figura 4.27. Sección PK 1,300 canal de Gavet de la Conca (Endesa)

Tabla 4.7. Datos de la sección en el PK 1,300

Parametro	Valor	Unidad
Área	54,5	m2
Altura (y)	5	m
b	6,8	m
Coordenada	421,7	m

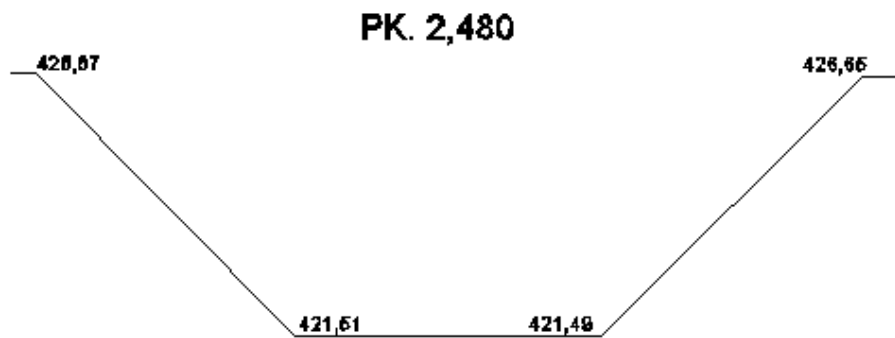


Figura 4.28. Sección PK 2,480 canal de Gavet de la Conca (Endesa)

Tabla 4.8. Datos de la sección en el PK 2,480

Parametro	Valor	Unidad
Área	58,534	m ²
Altura (y)	5,18	m
b	6,1	m
Coordenada z	421,51	m

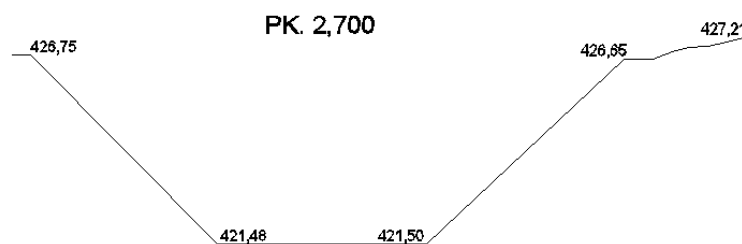


Figura 4.29. Sección PK 2,700 canal de Gavet de la Conca (Endesa)

Tabla 4.9. Datos de la sección en el PK 2,700

Parametro	Valor	Unidad
Área	58,608	m ²
Altura (y)	5,28	m
b	5,8	m
Coordenada z	421,48	m

Para el cálculo de la velocidad, usaremos la ecuación de Manning, comentada con anterioridad. Los cálculos los realizaremos con los datos de calado máximo y mínimo ofrecidos por *Endesa*, estos calados son de 2,89 m y 4,39 m. Los cálculos los realizaremos desde 2,89 m hasta 4,35 m, en intervalos de 0,05 m. Los coeficientes de Manning que usaremos, como se ha explicado, será variable y entre 0,012 y 0,022.

En la siguiente tabla 4.10 y 4.11 podemos observar las diferentes velocidades según el calado y el número de Manning usado en los dos tramos. En ellas podemos ver como con rugosidades mayores y con el mismo calado, la velocidad es menor que con rugosidades menores. Por tanto cuanto más a la izquierda (menor rugosidad) y más debajo (más calado) la velocidad es mayor. Para el canal de Gavet de la Conca, las velocidades siempre son mayores a la mínima establecida, y en algún caso, mayores a la máxima establecida de 2m/s aunque siendo un intervalo de entre 2 a 3 m/s, no es preocupante.

Tabla 4.10. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de Gavet de la Conca entre los PK 1,300 y 2,480

Calado (m)	n (coeficiente de manning)										
	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022
2,9	1,90	1,75	1,63	1,52	1,43	1,34	1,27	1,20	1,14	1,09	1,04
2,95	1,91	1,77	1,64	1,53	1,44	1,35	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05
3,00	1,93	1,78	1,65	1,54	1,45	1,36	1,29	1,22	1,16	1,10	1,05
3,05	1,94	1,79	1,66	1,55	1,45	1,37	1,29	1,23	1,16	1,11	1,06
3,10	1,95	1,80	1,67	1,56	1,46	1,38	1,30	1,23	1,17	1,12	1,07
3,15	1,96	1,81	1,68	1,57	1,47	1,39	1,31	1,24	1,18	1,12	1,07
3,20	1,97	1,82	1,69	1,58	1,48	1,39	1,32	1,25	1,19	1,13	1,08
3,25	1,99	1,83	1,70	1,59	1,49	1,40	1,33	1,26	1,19	1,14	1,09
3,30	2,00	1,84	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,20	1,14	1,09
3,35	2,01	1,85	1,72	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,21	1,15	1,10
3,40	2,02	1,86	1,73	1,62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,21	1,16	1,10
3,45	2,03	1,87	1,74	1,62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,22	1,16	1,11
3,50	2,04	1,88	1,75	1,63	1,53	1,44	1,36	1,29	1,23	1,17	1,12
3,55	2,05	1,89	1,76	1,64	1,54	1,45	1,37	1,30	1,23	1,17	1,12
3,60	2,06	1,90	1,77	1,65	1,55	1,46	1,38	1,30	1,24	1,18	1,13
3,65	2,07	1,91	1,78	1,66	1,55	1,46	1,38	1,31	1,24	1,19	1,13
3,70	2,08	1,92	1,78	1,67	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14
3,75	2,09	1,93	1,79	1,67	1,57	1,48	1,40	1,32	1,26	1,20	1,14
3,80	2,10	1,94	1,80	1,68	1,58	1,48	1,40	1,33	1,26	1,20	1,15
3,85	2,11	1,95	1,81	1,69	1,58	1,49	1,41	1,33	1,27	1,21	1,15
3,90	2,12	1,96	1,82	1,70	1,59	1,50	1,41	1,34	1,27	1,21	1,16
3,95	2,13	1,96	1,82	1,70	1,60	1,50	1,42	1,35	1,28	1,22	1,16
4,00	2,14	1,97	1,83	1,71	1,60	1,51	1,43	1,35	1,28	1,22	1,17
4,05	2,15	1,98	1,84	1,72	1,61	1,52	1,43	1,36	1,29	1,23	1,17
4,10	2,15	1,99	1,85	1,72	1,62	1,52	1,44	1,36	1,29	1,23	1,18
4,15	2,16	2,00	1,85	1,73	1,62	1,53	1,44	1,37	1,30	1,24	1,18
4,20	2,17	2,01	1,86	1,74	1,63	1,53	1,45	1,37	1,31	1,24	1,19
4,25	2,18	2,01	1,87	1,75	1,64	1,54	1,46	1,38	1,31	1,25	1,19
4,30	2,19	2,02	1,88	1,75	1,64	1,55	1,46	1,38	1,31	1,25	1,20
4,35	2,20	2,03	1,88	1,76	1,65	1,55	1,47	1,39	1,32	1,26	1,20

Para poder ver de mejor forma la evolución de la velocidad, se muestra en la siguiente figura 4.30 un gráfico dónde se muestra la evolución de la velocidad según vamos aumentando la rugosidad. Para ello se han fijado en cada serie valores de calado

desde 3 hasta 4,25 con intervalos de 0,25. Por tanto, cada serie corresponde a un valor de calado

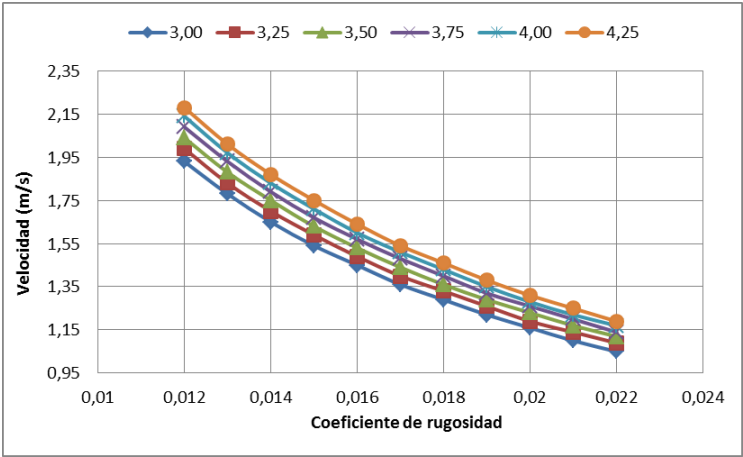


Figura 4.30. Evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y el calado

Tabla 4.11. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de Gavet de la Conca entre los PK 2,480 y 2,700

Calado (m)	n (coeficiente de manning)										
	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022
2,90	1,85	1,71	1,59	1,48	1,39	1,31	1,24	1,17	1,11	1,06	1,01
2,95	1,86	1,72	1,60	1,49	1,40	1,32	1,24	1,18	1,12	1,07	1,02
3,00	1,88	1,73	1,61	1,50	1,41	1,33	1,25	1,19	1,13	1,07	1,03
3,05	1,89	1,74	1,62	1,51	1,42	1,33	1,26	1,19	1,13	1,08	1,03
3,10	1,90	1,75	1,63	1,52	1,43	1,34	1,27	1,20	1,14	1,09	1,04
3,15	1,91	1,76	1,64	1,53	1,43	1,35	1,28	1,21	1,15	1,09	1,04
3,20	1,92	1,77	1,65	1,54	1,44	1,36	1,28	1,22	1,15	1,10	1,05
3,25	1,93	1,78	1,66	1,55	1,45	1,37	1,29	1,22	1,16	1,11	1,06
3,30	1,94	1,79	1,67	1,56	1,46	1,37	1,30	1,23	1,17	1,11	1,06
3,35	1,95	1,80	1,67	1,56	1,47	1,38	1,30	1,24	1,17	1,12	1,07
3,40	1,96	1,81	1,68	1,57	1,47	1,39	1,31	1,24	1,18	1,12	1,07
3,45	1,97	1,82	1,69	1,58	1,48	1,39	1,32	1,25	1,19	1,13	1,08
3,50	1,98	1,83	1,70	1,59	1,49	1,40	1,32	1,25	1,19	1,14	1,08
3,55	1,99	1,84	1,71	1,60	1,50	1,41	1,33	1,26	1,20	1,14	1,09
3,60	2,00	1,85	1,72	1,60	1,50	1,41	1,34	1,27	1,20	1,15	1,09
3,65	2,01	1,86	1,73	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,21	1,15	1,10
3,70	2,02	1,87	1,73	1,62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,21	1,16	1,10
3,75	2,03	1,87	1,74	1,62	1,52	1,43	1,35	1,28	1,22	1,16	1,11
3,80	2,04	1,88	1,75	1,63	1,53	1,44	1,36	1,29	1,23	1,17	1,11
3,85	2,05	1,89	1,76	1,64	1,54	1,45	1,37	1,30	1,23	1,17	1,12
3,90	2,06	1,90	1,76	1,65	1,54	1,45	1,37	1,30	1,24	1,18	1,12
3,95	2,06	1,91	1,77	1,65	1,55	1,46	1,38	1,31	1,24	1,18	1,13
4,00	2,07	1,91	1,78	1,66	1,56	1,46	1,38	1,31	1,25	1,19	1,13
4,05	2,08	1,92	1,78	1,67	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14
4,10	2,09	1,93	1,79	1,67	1,57	1,48	1,39	1,32	1,26	1,20	1,14
4,15	2,10	1,94	1,80	1,68	1,57	1,48	1,40	1,33	1,26	1,20	1,15
4,20	2,10	1,94	1,80	1,68	1,58	1,49	1,40	1,33	1,26	1,20	1,15
4,25	2,11	1,95	1,81	1,69	1,59	1,49	1,41	1,34	1,27	1,21	1,15
4,30	2,12	1,96	1,82	1,70	1,59	1,50	1,41	1,34	1,27	1,21	1,16
4,35	2,13	1,96	1,82	1,70	1,60	1,50	1,42	1,35	1,28	1,22	1,16

En la siguiente figura 4.31 se ilustra el gráfico correspondiente a la evolución de las velocidades según la variación del coeficiente de Manning, fijando un calado para el tramo entre los PK 2,480 y 2,700.

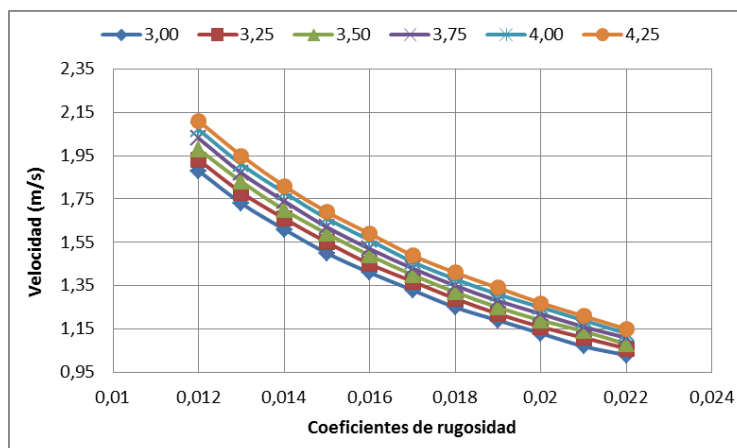


Figura 4.31. Evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y el calado

Cómo se aprecia, en algunos casos con el menor coeficiente de Manning, las velocidades superan los 2 m/s, límite establecido como máximo para que no se produzca erosión. Debido a que, es el límite inferior de rugosidad y no suele ser normal que se den rugosidades tan bajas, y que son velocidades ligeramente superiores al límite que hemos establecido y éste es aceptable entre 2 y 3 m/s, podemos concluir que las velocidades en el canal de Gavet, son las más adecuadas para que no se produzca crecimiento biológico.

En estas gráficas se puede apreciar como el valor de la velocidad va disminuyendo a medida que va aumentando el coeficiente de Manning o de rugosidad.

Canal de la Derecha del Ebro

Para este canal tenemos dos secciones tipo que determinan unos parámetros de cálculo cada una, un pendiente entre ellos y un comportamiento específico de la lámina de agua. Estas secciones se encuentran en Xerta y en Sant Jaume d'Enveja. En las siguientes figuras 4.32 y 4.33 se mostrarán las distintas secciones para este canal y en las tablas 4.12 y 4.13 se mostrarán los parámetros geométricos del canal y las coordenadas x, y, z del punto de observación. La primera figura mostrará la sección en Xerta y la segunda la sección en Amposta.

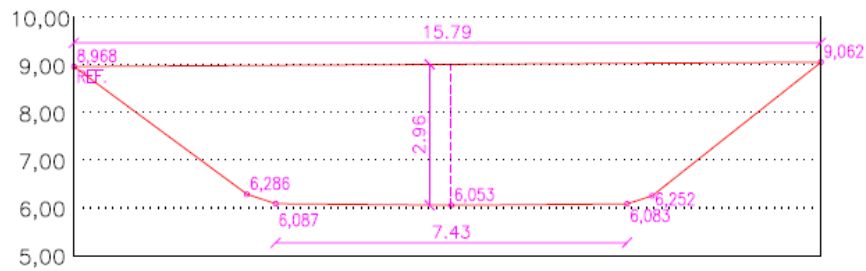


Figura 4.32. Sección Xerta (Colegio de ingenieros técnicos en topografía)

Tabla 4.12. Datos de la sección Xerta

Parametro	Valor	Unidad
Área	35,021	m ²
Altura (y)	2,96	m
b	7,43	m
Coordenada z	8,968	m

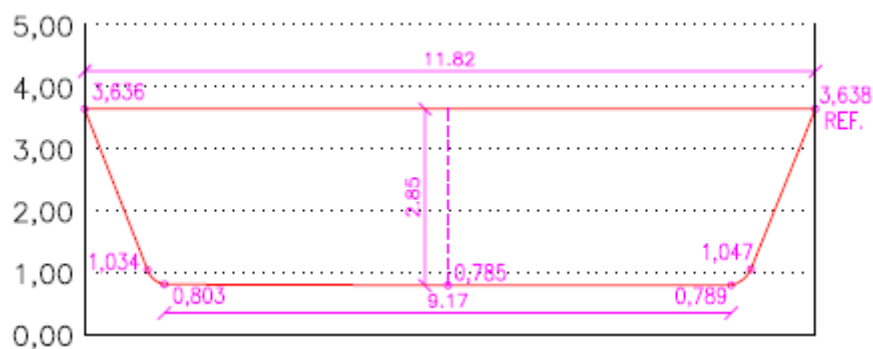


Figura 4.33. Sección Amposta (Colegio de ingenieros técnicos en topografía)

Tabla 4.13. Datos de la sección Amposta

Parametro	Valor	Unidad
Área	30,407	m ²
Altura (y)	2,85	m
b	9,17	m
Coordenada z	3,638	m

Realizando la diferencia entre las coordenadas z de las tres secciones, obtenemos que la pendiente entre la sección 1 (Amposta) y la sección 2 (Buda) es de 0.000186158 metros de desnivel por metro recorrido.

Para el cálculo de la velocidad, usaremos la ecuación de Manning, comentada con anterioridad. Los cálculos los realizaremos con los datos de calado normal que tiene el canal, estos calados son de 1,25 m y 2,4 m. Los cálculos los realizaremos desde 1,25

m hasta 2,4 m, en intervalos de 0,05 m. Los coeficientes de Manning que usaremos, como se ha explicado, será variable y entre 0,012 y 0,022.

En la siguiente tabla 4.14 podemos observar las diferentes velocidades según el calado y el número de Manning usado. En ella podemos ver como con rugosidades mayores y con el mismo calado, la velocidad es menor que con rugosidades menores. Por tanto cuanto más a la izquierda (menor rugosidad) y más debajo (más calado) la velocidad es mayor. Para el canal de la derecha del Ebro, las velocidades siempre son mayores a la mínima establecida, y menores a la máxima establecida de 2m/s.

Tabla 4.14. Velocidades en m/s calculadas según Manning en el canal de la derecha del Ebro

Calado (m)	n (coeficiente de manning)										
	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02	0,021	0,022
1,25	1,36	1,26	1,17	1,09	1,02	0,96	0,91	0,86	0,82	0,78	0,75
1,30	1,39	1,29	1,19	1,11	1,05	0,98	0,93	0,88	0,84	0,80	0,76
1,35	1,42	1,31	1,22	1,14	1,07	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,78
1,40	1,45	1,34	1,24	1,16	1,09	1,03	0,97	0,92	0,87	0,83	0,79
1,45	1,48	1,36	1,27	1,18	1,11	1,04	0,99	0,94	0,89	0,85	0,81
1,50	1,51	1,39	1,29	1,21	1,13	1,06	1,01	0,95	0,91	0,86	0,82
1,55	1,53	1,41	1,31	1,23	1,15	1,08	1,02	0,97	0,92	0,88	0,84
1,60	1,56	1,44	1,34	1,25	1,17	1,10	1,04	0,99	0,94	0,89	0,85
1,65	1,58	1,46	1,36	1,27	1,19	1,12	1,06	1,00	0,95	0,91	0,87
1,70	1,61	1,48	1,38	1,29	1,21	1,14	1,07	1,02	0,97	0,92	0,88
1,75	1,63	1,51	1,40	1,31	1,22	1,15	1,09	1,03	0,98	0,93	0,89
1,80	1,65	1,53	1,42	1,32	1,24	1,17	1,10	1,05	0,99	0,95	0,90
1,85	1,68	1,55	1,44	1,34	1,26	1,19	1,12	1,06	1,01	0,96	0,92
1,90	1,70	1,57	1,46	1,36	1,28	1,20	1,13	1,08	1,02	0,97	0,93
1,95	1,72	1,59	1,48	1,38	1,29	1,22	1,15	1,09	1,03	0,99	0,94
2,0	1,74	1,61	1,49	1,40	1,31	1,23	1,16	1,10	1,05	1,00	0,95
2,05	1,76	1,63	1,51	1,41	1,32	1,25	1,18	1,12	1,06	1,01	0,96
2,10	1,78	1,65	1,53	1,43	1,34	1,26	1,19	1,13	1,07	1,02	0,98
2,15	1,80	1,67	1,55	1,44	1,35	1,27	1,20	1,14	1,08	1,03	0,99
2,20	1,82	1,68	1,56	1,46	1,37	1,29	1,22	1,15	1,10	1,04	1,00
2,25	1,84	1,70	1,58	1,47	1,380	1,30	1,23	1,17	1,11	1,05	1,01
2,30	1,86	1,72	1,60	1,49	1,4	1,32	1,24	1,18	1,12	1,07	1,02
2,35	1,88	1,74	1,61	1,50	1,41	1,33	1,25	1,19	1,13	1,08	1,03
2,40	1,90	1,75	1,63	1,52	1,42	1,34	1,27	1,2	1,14	1,09	1,04

Para facilitar la comprensión de la evolución se muestra en a figura 4.34 la gráfica de evolución de las velocidades fijando los calados para cada serie, con intervalos de 0,25 m para cada calado diferente. Podemos ver como las velocidades van bajando cuanto mayor se va haciendo el valor de la rugosidad.

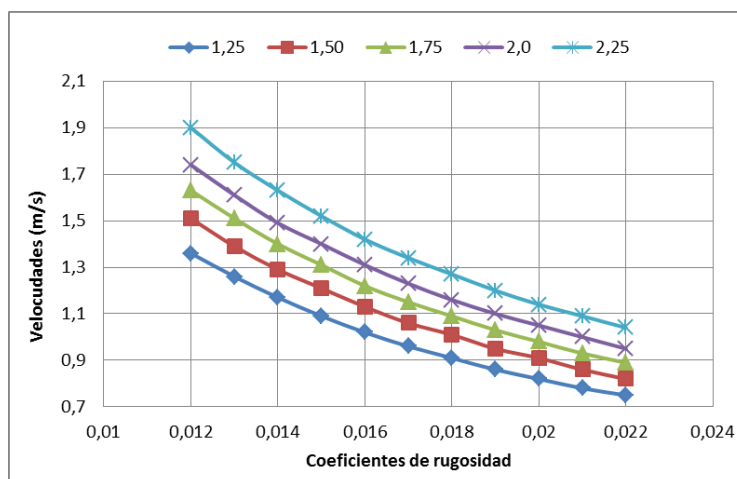


Figura 4.34. Gráfico de la evolución de las velocidades según el coeficiente de Manning y fijando un calado

4.5. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado la comparación entre la temperatura entre las aguas de los dos y entre las secciones, pendiente y velocidad.

En cuanto a temperatura se refiere, la temperatura del agua ideal para el crecimiento de algas se encuentra entre los 25 y 35°C, teniendo un punto de inflexión en los 40°C dónde el crecimiento de las algas se desploma. Si bien la temperatura del agua en Amposta es de alrededor de los 25°C y por tanto, se encuentra en el límite de la horquilla definida como adecuada para el crecimiento, el canal de Gavet de la Conca suele tener temperaturas del agua inferiores a los 20°C.

Con esto podemos concluir que la temperatura, sin duda alguna, afecta sensiblemente al crecimiento de algas, siendo un factor que puede ser detonante para un desarrollo de algas muy superior que en un canal dónde las temperaturas no se encuentren en ese intervalo.

En cuanto se refiere a la sección y al pendiente, el hecho de que las algas crezcan en los hastiales más que en la solera del canal, hace pensar que la sección del canal no es un factor que puede desencadenar un crecimiento masivo de algas pero las plantas tienen más facilidades en crecer en superficies más horizontales que en otras más verticales. Por tanto, estos factores de diseño del canal se consideran importantes en la facilidad y/o inhibición del crecimiento de algas en canales. Por otra parte las velocidades de las aguas en los canales, es suficientemente grande como para que no sedimenten partículas ni minerales, las algas absorben directamente los minerales del agua.

Referente a las velocidades, vemos que en el canal de Amposta, tanto sea por el hecho de tener menor calado, por el tipo de sección o por la rugosidad, las velocidades son más bajas que en Gavet de la Conca. Esto hace que las algas tengan más tiempo para asimilar los nutrientes que necesitan.

Aunque en valores bajos de rugosidad se puedan hallar velocidades mayores al límite establecido de 2 m/s en Gavet, tanto en Amposta como en el propio canal de Gavet las velocidades son suficientemente altas para que no sedimente y suficientemente bajas para que no erosione el canal.

CAPÍTULO 5

DIFERENCIAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS ENTRE LOS CANALES

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se compararán los parámetros tanto químicos como biológicos de las aguas de los dos canales en cuestión, canal de Gavet de la Conca y canal en Sant Jaume d'Enveja para intentar determinar el porqué de la diferencia en el crecimiento biológico una vez usado el compuesto PL-UV-H-2B y PL-UV-H-3B.

La comparación entre las distintas aguas de los canales se dará parámetro a parámetro, explicando en cada uno como afecta ese parámetro al crecimiento de las algas luego se detallará mediante tablas y gráficas los datos obtenidos de la página de la confederación hidrográfica del Ebro (<http://www.chebro.es/>), y se compararán mediante gráficas los parámetros establecidos de las dos aguas.

Para esta comparación tendremos aguas del canal de Gavet de la Conca que presentan un crecimiento menor al de Sant Jaume d'Enveja y el canal de Sant Jaume d'Enveja, que presenta un mayor crecimiento de algas.

La determinación de si hay mucho crecimiento biológico o no en un canal, viene dado por los niveles y las cantidades de algas, nutrientes y otros factores que encontramos en los análisis de las distintas aguas. Los datos que obtenemos de la confederación hidrográfica del Ebro muestran un parámetro denominado “Nº de valvas” que refleja la cantidad de “valvas” que se encuentran. Estas “valvas” no son más que tubos larvarios de distintos tipos de algas.

Los datos de la calidad del agua se han tomado de los siguientes puntos. Para el caso del canal de Sant Jaume d'Enveja, se han tomado los datos referentes a la propia estación o punto de control que tiene la confederación en Sant Jaume d'Enveja. El agua que se usa en este canal es recolectada del río Ebro a su paso por el azud de Cherta, esto quiere decir que el agua que llega procede de casi toda la cuenca del Ebro.

Para los datos del canal de Gavet de la Conca, se valoró la opción de tomar puntos en el embalse de “Sant Antoni” o por tomar los puntos en el punto de control en “Gerri de la sal”. El hecho de tener por un lado, datos más actuales y por otra parte, tener datos en una sola profundidad y no en varias, se escogieron los datos de “Gerri de la Sal” antes que los del embalse de Sant Antoni. “Gerri de la sal” es una población a escasos 20km del embalse de Sant Antoni que es donde el canal obtiene el agua. Debido a que la distancia es bastante reducida, podemos asumir que el agua será prácticamente la misma tanto en el punto estudiado como en el punto de toma de agua del canal (embalse de Sant Antoni)

Las principales familias de algas presentes en las aguas y por tanto, algas que acaban adhiriéndose en el biofilm de los paramentos de hormigón de los canales son las siguientes:

Tabla 5.1. Familias de Algas (<http://www.chebro.es/>)

Achnanthidium	Geissleria decussis
Amphora	Gomphonema
Bacillaria paxillifera	Gyrosigma
Cocconeis	Hannaea arcus
Craticula molestiformis	Kolbesia gessneri
Cyclotella meneghiniana	Melosira varians
Cymbella	Navicula
Denticula	Nitzschia
Diatoma	Planothidium
Discostella	Pleurosira laevis for. laevis
Encyonema	Reimeria sinuata
Eolimna	Rhoicosphenia abbreviata
Fallacia subhamulata	Staurosirella
Fistulifera saprophila	Tabularia fasciculata
Fragilaria	Ulnaria ulna

La gran mayoría de estas familias pertenecen a las diatomeas, que son el tipo de planta que se encontraron con más frecuencia en el estudio realizado en el canal “tubo tonto” explicado en el capítulo 3 y el tipo más problemático.

En las siguientes tablas se mostrará la cantidad existente para cada tipo de familias de algas existentes en el agua.

En el caso del agua de Gerri de la sal se tienen datos para este parámetro de 2008 hasta 2013, a partir de 2013 no se tienen datos de la cantidad de algas que se tienen. En el caso de Sant Jaume d’Enveja, se tienen datos desde el año 2008 hasta 2013.

A continuación de estas tablas, se mostrará en forma de histograma la diferencia existente entre las especies y cantidad por especie de algas en los dos casos, mostrados en los años en los que se tiene datos de ambos.

En la primera tabla 5.2 se muestran datos de Gerri de la sal y en la segunda, tabla 5.3 los datos de algas de Sant Jaume d’Enveja.

Tabla 5.2. Cantidad y familias de Algas en Gerri de la sal

Noguera Pallaresa			Noguera Pallaresa		
Fecha	Taxón	Nº de algas	Fecha	Taxón	Nº de algas
01/08/2008	Achnanthidium	386	01/10/2013	Achnanthidium	339
	Diatoma	1		Cocconeis	57
	Encyonema	7		Encyonema	13
	Gomphonema	8		Geissleria	1
06/08/2009	Achnanthidium	433		Gomphonema	3
	Diatoma	3		Hannaea	1
	Encyonema	22		Navicula	6
	Fragilaria	13		Reimeria	22
	Gomphonema	6			
	Nitzschia	1			
	Reimeria sinuata	10			
	Staurosirella	1			

Tabla 5.3. Cantidad y familias de Algas en Sant Jaume d'Enveja

Ebro			Ebro		
Fecha	Taxón	Nº de algas	Fecha	Taxón	Nº de algas
14/07/2008	Achnanthidium	7,00	05/09/2012	Achnanthidium	5,00
	Amphora libyca	279,00		Amphora	54,00
	Cocconeis	47,00		Bacillaria	2,00
	Gomphonema	6,00		Cocconeis	100,00
	Navicula	14,00		Craticula	3,00
	Nitzschia	33,00		Cyclotella	2,00
	Planothidium	1,00		Cymbella	4,00
	Rhoicosphenia	2,00		Denticula	1,00
11/08/2008	Achnanthidium	28,00		Discostella	1,00
	Amphora	88,00		Eolimna	43,00
	Bacillaria	2,00		Fallacia	1,00
	Cocconeis	34,00		Fistulifera	5,00
	Cyclotella	6,00		Gomphonema	33,00
	Diadsmis	2,00		Melosira	3,00
	Eolimna	18,00		Navicula	70,00
	Fragilaria	4,00		Nitzschia	60,00
	Gomphonema	10,00		Planothidium	2,00
	Gyrosigma	3,00		Pleurosira laevis	1,00
	Mayamaea atomus	2,00		Rhoicosphenia	4,00
	Melosira	1,00		Staurosirella	2,00
	Navicula	48,00		Tabularia	4,00
	Nitzschia	165,00		Ulnaria	1,00
	Pleurosira laevis	5,00	26/08/2013	Achnanthidium	16,00
	Rhoicosphenia	15,00		Amphora	188,00
	Staurosira	1,00		Bacillaria	4,00
				Cocconeis	47,00
				Cyclotella	2,00
				Cymbella	1,00
				Diatoma	1,00
				Eolimna	4,00
				Eolimna	1,00
				Gomphonema	5,00
				Gyrosigma	2,00
				Kolbesia	15,00
				Melosira	4,00
				Navicula	8,00
				Nitzschia	51,00
				Reimeria	3,00
				Rhoicosphenia	15,00
				Tabularia	1,00
				Ulnaria	1,00

En la tabla 5.4 se presenta el total de algas que se encontraron en los distintos puntos de control con la temperatura correspondiente a la fecha o a la fecha de condiciones climáticas más parecidas a la de medición del número de algas. En el caso del río Noguera Pallaresa en 2009, no se tomó datos en una fecha con condiciones climáticas parecidas. Como se muestra en la siguiente figura, la comparación con datos de años anteriores indica que la tendencia de la temperatura era creciente y superior a los otros años, por lo tanto, probablemente en la fecha de muestreo era superior a las otras.

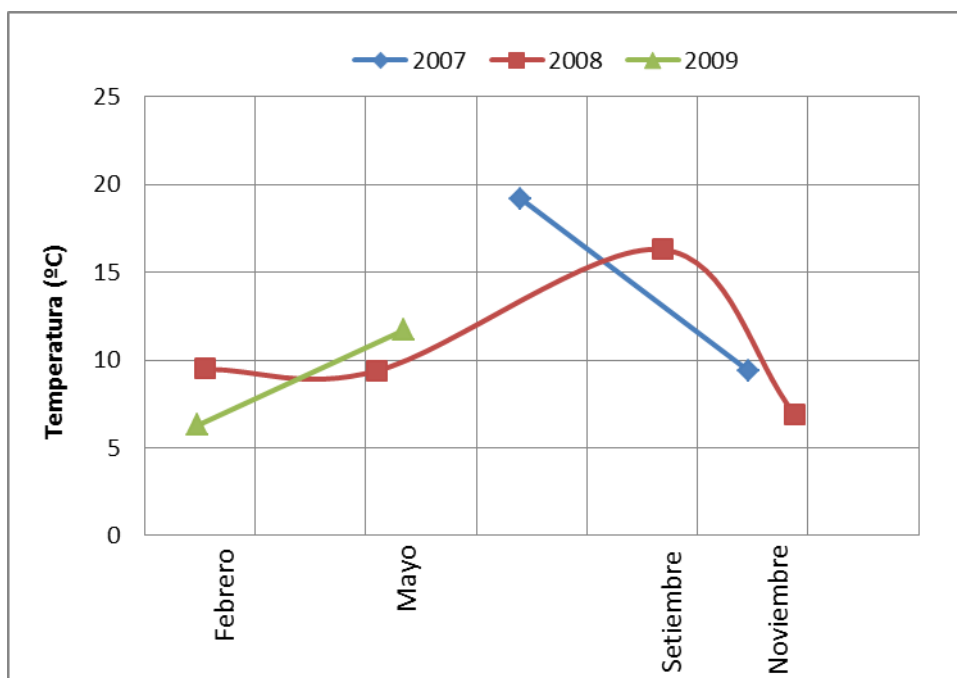


Figura 5.1. Gráfico de la tendencia de la temperatura del agua

La tendencia de la evolución en el tiempo es que el número de algas en el río Noguera Pallaresa se mantiene constante a lo largo de los años con un valor medio de 444,33 con una variación en el entorno del 10%. En el caso de la población de algas en el río Ebro la variación es similar al del río Noguera Pallaresa. La media de algas en el río Ebro es de 425,66, valor ligeramente inferior al río Noguera Pallaresa.

El tener valores parecidos en cuanto a número de algas, hace pensar que la diferencia existente en el biofouling una vez aplicado el tratamiento inhibidor, es debido a parámetros que sean superiores en el río Ebro respecto al río Noguera Pallaresa.

Tabla 5.4. Cantidad total de algas y temperatura en ambos ríos

Noguera Pallaresa			Ebro		
Fecha	Nº algas	T (°C)	Fecha	Nº algas	T (°C)
01/08/2008	402	16,3	11/08/2008	407	23
06/08/2009	489	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	05/09/2012	401	16,3
01/10/2013	442	15,4	26/08/2013	469	25,1

5.2. DIFERENCIAS EN EL pH

El primer parámetro que compararemos y estudiaremos será el pH del agua en cada uno de los canales. Cada especie tanto animal como vegetal tiene un rango de valores de pH adecuado para su crecimiento. Las plantas y animales acuáticos son muy sensibles a los cambios de pH, cualquier variación puede causarles graves problemas e incluso su muerte. En el caso del crecimiento de las algas, el pH que favorece el crecimiento, según *Stanley (2007)*, son aquellos valores de pH ligeramente básicos, entre 7,0 y 9,0, aunque los valores óptimos están entre 8,2 y 8,7.

Según *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, durante el día, las algas llevan a cabo la fotosíntesis debido a la presencia de la luz solar. Las algas extraen el dióxido de carbono del agua para realizar la fotosíntesis, promoviendo el crecimiento celular.

Debido a la reducción de carbonatos y bicarbonatos usados para reponer el dióxido de carbono perdido el pH aumenta. El agotamiento de carbono inorgánico del agua por el alga, resulta en niveles altos de pH. Los niveles de pH de las aguas naturales donde hay algas, que puede ir hasta 10 o incluso ser más elevado. El aumento de pH del agua también causa la ionización del amoníaco.

Por la noche, las algas dejan de realizar la fotosíntesis y entran en fase respiratoria. Toman el oxígeno libre del agua y lo transforman en dióxido de carbono, esto hace disminuir el pH. Por tanto, el pH del agua de los canales varía en función de si es día o de noche.

A continuación se muestran las tablas donde se ven reflejados los datos referentes al pH de las aguas en el punto de control de Garri de la sal y en el punto de control de Sant Jaume d'Enveja.

Dichas estaciones nos proporcionan datos desde 2007 hasta 2015. Una vez mostrados los datos de pH se compararán los datos en una gráfica. Debido a que no están tomados los mismos días, ni en los mismos meses, para la comparación se escogerán el mismo número de puntos intentando que sean épocas del año parecidas o de condiciones atmosféricas semejantes.

En la siguiente tabla 5.5 se muestran los diversos valores del pH en los dos ríos a analizar. Como se puede observar, en ambos ríos los niveles de pH son semejantes y son valores que favorecen el crecimiento de algas, son valores entre 8,0 y 9,0. En su gran mayoría en el rango citado anteriormente de máximo favorecimiento de crecimiento, entre 8,2 y 8,7.

Tabla 5.5. Valores del pH en los dos ríos

Noguera Pallaresa			Ebro		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
0	19/07/2007	8,80	0	26/08/2007	7,76
1	30/10/2007	8,90	1	17/09/2007	8,10
2	27/02/2008	8,70	2	13/11/2007	8,20
3	15/05/2008	8,00	3	18/02/2008	8,30
4	01/08/2008	8,69	4	12/05/2008	8,10
5	21/08/2008	8,50	5	14/07/2008	8,13
6	20/11/2008	8,00	6	15/09/2008	8,30
7	24/02/2009	8,40	7	09/12/2008	8,20
8	27/05/2009	8,20	8	17/02/2009	8,30
9	06/08/2009	8,23	9	25/05/2009	8,30
10	28/02/2013	8,40	10	05/09/2012	7,94
11	01/10/2013	7,40	11	30/10/2012	8,30
12	13/11/2013	8,20	12	31/01/2013	8,20
13	11/02/2014	8,30	13	18/04/2013	8,30
14	14/05/2014	8,10	14	18/07/2013	8,0
15	23/09/2014	8,20	15	26/08/2013	7,70
16	18/11/2014	7,80	16	19/12/2013	8,30
17	11/02/2015	8,20	17	13/03/2014	8,20
18	14/05/2015	7,50	18	24/06/2014	8,20
19	15/09/2015	8,70	19	29/09/2014	8,10
20	11/11/2015	8,30	20	09/12/2014	8,10
				03/03/2015	8,30
				23/06/2015	8,40
				15/09/2015	8,20
				21/12/2015	7,90

Para el caso del río Noguera Pallaresa, tenemos 21 datos y para el río Ebro 25. La comparación la haremos con 20 datos de cada uno de los ríos. Como se puede observar en la figura 5.2 correspondiente al gráfico de la comparativa entre los dos ríos en épocas del año semejantes, los valores de pH son semejantes y no varían demasiado. Ambos, están entre los valores de favorecimiento del crecimiento de algas.

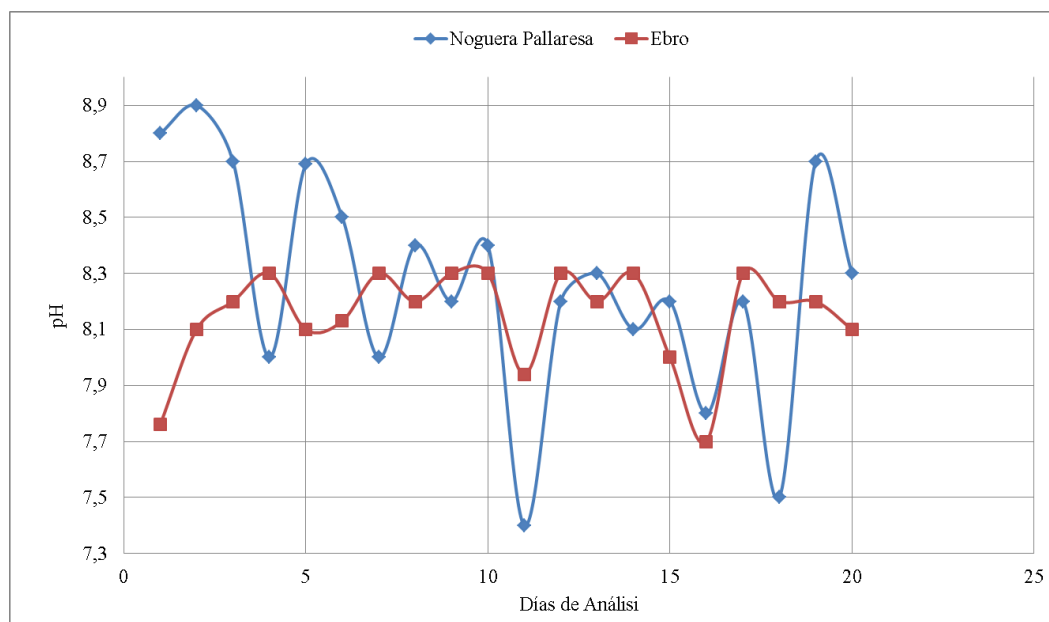


Figura 5.2. Gráfica comparativa del pH en los dos ríos

Debido a que ambos canales presentan valores de pH semejantes, podemos concluir que la diferencia de crecimiento entre ellos no es debido a éste parámetro, aunque sí que podemos decir que valores ligeramente básicos del pH, entre 8,0 y 9,0 favorecen el crecimiento de las algas.

Como se puede ver, existen puntos singulares de disminución significativa del pH, obteniéndose valores inferiores a 8. Estos valores, en el caso del canal de Gavet de la Conca se dan en meses de primavera y otoño, meses que coinciden con épocas recomendadas para la plantación y fertilización de las plantas, épocas dónde no se tienen importantes cambios de temperatura.

En el caso del río Ebro, el descenso del pH del agua va acompañado a un incremento de cloruros y en los descensos más importantes, siendo también épocas de fertilización. Los fertilizantes son productos que suelen tener fosfatos y sobre todo nitrógeno. Estos elementos junto al cloro, reaccionan con el agua formando ácidos. Los ácidos disminuyen el pH del agua.

5.3. AFECTACIÓN DE LOS NUTRIENTES

Para cualquier tipo de crecimiento biológico, según *Stanley (2007)*, son necesarios ciertos nutrientes requeridos para poder llevar un adecuado crecimiento. En el caso de las algas, el exceso de nutrientes y por tanto el crecimiento en exceso, es llamado eutrofización, término derivado del griego que significa “bien nutrido”.

El primer paso para la eutrofización es la llegada de nutrientes para las especies vegetales. Para nuestro caso, los nutrientes están mezclados en el agua que recogen los canales de los ríos en cuestión. Por tanto, podemos asociar los datos de nutrientes existentes en los ríos a los que se encuentran en los canales.

A parte de la multitud de elementos naturales que ayudan al proceso de eutrofización como puedan ser el arrastre natural de nutrientes por la escorrentía natural del agua superficial a agua subterránea que acaba desembocando en los ríos, los distintos desechos animales o vegetales que puedan llegar al río y otros, el ser humano contribuye a este proceso. Las aguas residuales tratadas que se vierten en los ríos, los fertilizantes usados en agricultura, todas esas aguas contienen altas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio. Nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las algas.

La industria también contribuye en la aportación de elementos químicos que son necesarios en la evolución y crecimiento de las algas. Muchas industrias, vierten sus aguas residuales con contenidos de bromo, cloro, cobre, magnesio y otros elementos de carácter metálico que ayudan al crecimiento. En la siguiente tabla 5.6 se muestran los nutrientes y minerales más importantes en el crecimiento de las algas.

Tabla 5.6. Nutrientes principales para el crecimiento de algas

Nutriente	Función
Macronutrientes	
Carbono	Contribuyente de la biomasa
Hidrógeno	Contribuyente de la biomasa
Oxígeno	Contribuyente de la biomasa
Nitrógeno	Contribuyente de la biomasa
Fósforo	Contribuyente al ARN/ADN
Potasio	Función metabólica
Azufre (sulfatos)	Proteínas, enzimas
Magnesio	Función metabólica
Calcio	Función metabólica
Micronutrientes	
B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Si, V, Zn	Función metabólica y/o constituyente de enzimas

Una vez detectados los nutrientes esenciales para el crecimiento de las algas y con la existencia de ciertos iones disueltos en el agua, podemos encontrar la fuente de esos nutrientes esenciales, tanto sea por encontrar el ión de forma directa como podría ser el caso del Cloro que encontramos el ión cloruro, como de forma indirecta, en el caso del carbono, lo encontramos en forma de carbonato y bicarbonato.

5.4. AFECTACIÓN DE LOS MACRONUTRIENTES

Cómo dice *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, diferenciamos los nutrientes como macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son aquellos que proporcionan la mayor parte de la energía metabólica del organismo. Se diferencian de los micronutrientes, vitaminas y minerales en que son necesarias pocas cantidades para mantener la salud pero no para producir energía.

5.4.1. Carbono

Según *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, la afectación que tiene el carbono sobre el crecimiento de la planta se basa en la realización de la fotosíntesis. Las algas, como las demás plantas, realizan la fotosíntesis durante los periodos diurnos. La fotosíntesis es la conversión de materia inorgánica a materia orgánica gracias a la energía lumínica del sol. La energía que necesita el alga para crecer y sobrevivir la crea con la fotosíntesis.

Las plantas de la superficie absorben el dióxido de carbono a través de sus raíces y poros, pero a las plantas subacuáticas les resulta más costoso. Esta actuación ya que los niveles de dióxido de carbono son más bajos y el gas, se mueve más despacio.

Para compensar esta carencia, las hojas de muchas plantas acuáticas crecen como una cutícula delgada que las protege de los elementos y que también tiene poros suficientes como para que el carbono entre con mucha más facilidad que en otras plantas.

Una vez absorbido el carbono del agua, los iones carbonato y bicarbonato se descomponen para restaurar el carbono absorbido por el alga. Por tanto, cuanto más alto sea el nivel de carbono o de los iones que se descomponen en carbono (carbonato y bicarbonato), aparentemente, será mayor el crecimiento del alga.

En los dos canales que son objeto de estudio, encontramos indicadores de carbonato y bicarbonato, estos indicadores van asociados a los niveles de dióxido de carbono que tendrá el agua y por tanto, irán asociados a la capacidad de realizar una buena fotosíntesis.

Para el caso de los niveles de carbonato, podemos ver en la siguiente tabla 5.7 los niveles de carbonato que tenía el agua en las distintas fechas en que se analizaron las aguas de ambos ríos. Para el río Noguera Pallaresa, se tienen datos hasta 2009 en cambio, para el río Ebro se disponen hasta 2013.

Cómo observa en la tabla los valores son bastante parecidos hasta 2009, dónde el valor de carbonatos en las aguas del río Ebro se disparan. Al no tener datos más recientes de las aguas del río Noguera Pallaresa, no se puede observar si también existe el mismo aumento significativo de carbonatos que existe en el Ebro.

Tabla 5.7. Valores de los niveles de Carbonatos existentes en los ríos

Noguera Pallaresa (mg/l CO ₃ Ca)			Ebro (mg/l CO ₃ Ca)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
0	19/07/2007	9,6	0	17/09/2007	5,0
1	30/10/2007	11,2	1	13/11/2007	5,0
2	27/02/2008	10,2	2	18/02/2008	17,4
3	15/05/2008	5,0	3	12/05/2008	5,0
4	21/08/2008	6,8	4	15/09/2008	9,3
5	20/11/2008	5,0	5	09/12/2008	5,0
6	24/02/2009	6,9	6	17/02/2009	6,2
7	27/05/2009	5,0	7	25/05/2009	14,0
				30/10/2012	40,0
				31/01/2013	44,0

Para el caso del bicarbonato, podemos ver en la siguiente tabla 5.8 los niveles que tenía el agua en las distintas fechas en que se realizaron los análisis de las aguas de los ríos. Para el río Noguera Pallaresa, se tienen datos hasta 2009 y para el río Ebro se disponen hasta 2013. Se puede observar que las concentraciones de bicarbonatos son muy superiores en el río Ebro respecto al río Noguera Pallaresa.

Tabla 5.8. Valores de los niveles de Bicarbonatos existentes en los ríos

Noguera Pallaresa (mg/l CO ₃ Ca)			Ebro (mg/l CO ₃ Ca)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
0	19/07/2007	75,3	0	17/09/2007	209,9
1	30/10/2007	72,7	1	13/11/2007	222,1
2	27/02/2008	75,1	2	18/02/2008	194,4
3	15/05/2008	59,6	3	12/05/2008	210,3
4	21/08/2008	85,8	4	15/09/2008	193,6
5	20/11/2008	98,7	5	09/12/2008	201,7
6	24/02/2009	78,6	6	17/02/2009	190,8
7	27/05/2009	49,9	7	25/05/2009	152,8
				30/10/2012	128,0
				31/01/2013	129,0

Para poder comparar los dos ríos tanto en el caso del carbonato como del bicarbonato, se usarán los datos de los mismos años en fechas semejantes, por tanto, para el caso del río Noguera usaremos todos los datos, pero para el río Ebro, solo usaremos los datos hasta 2009. Los gráficos comparativos de los iones carbonato y bicarbonato se muestran en las figuras 5.3 y 5.4 respectivamente.

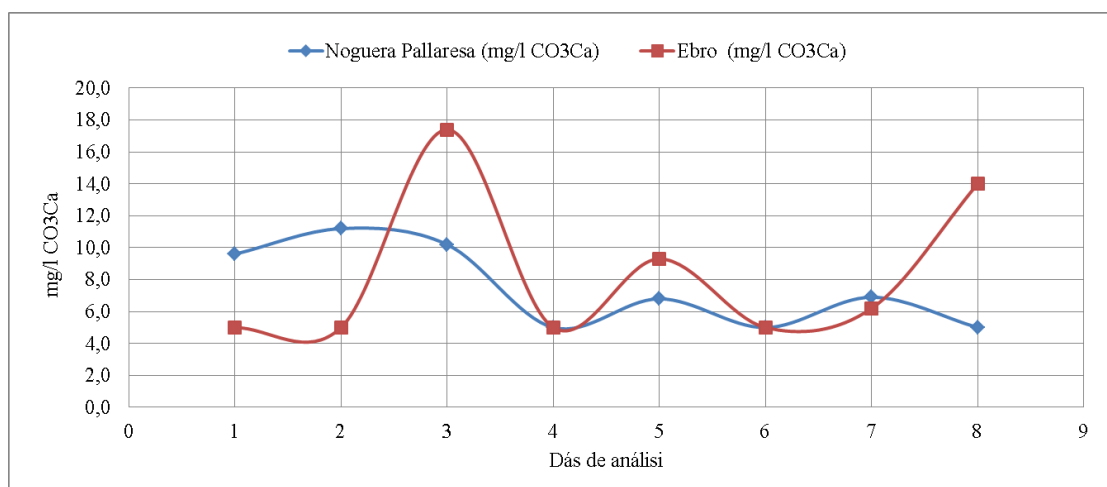


Figura 5.3. Gráfico de iones Carbonato

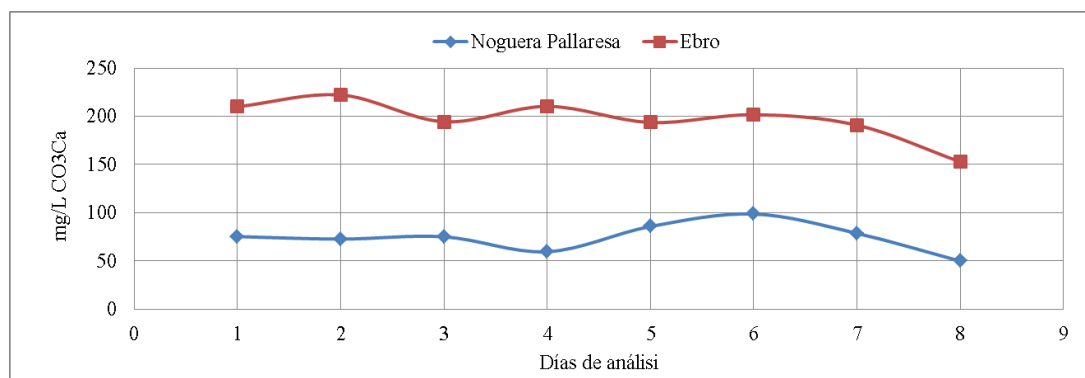


Figura 5.4. Gráfico de iones Bicarbonato

Como se puede observar en los anteriores gráficos, el valor de carbonatos libres en el agua son en ambos casos parecidos y sin tener una concentración excesiva, en el río Ebro existen picos tanto en febrero de 2008 como en la actualidad (reflejado en la tabla), esto puede ser debido a la creciente contaminación ambiental existente. Según Mota A.J. (n.d) el CO₂ disponible en el aire puede reaccionar con el agua y formar los iones carbonato.

Por tanto, debido al creciente problema que existe en el problema de la contaminación, es de esperar que los niveles de carbonato vayan en aumento, dato que queda reflejado en los años posteriores a la comparación en las aguas del río Ebro.

En la siguiente figura, se muestra un esquema obtenido de los apuntes del profesor Antonio J. Mota de la Universidad de Granada de la reacción de carbonatación existente con el CO₂ en estado gaseoso.

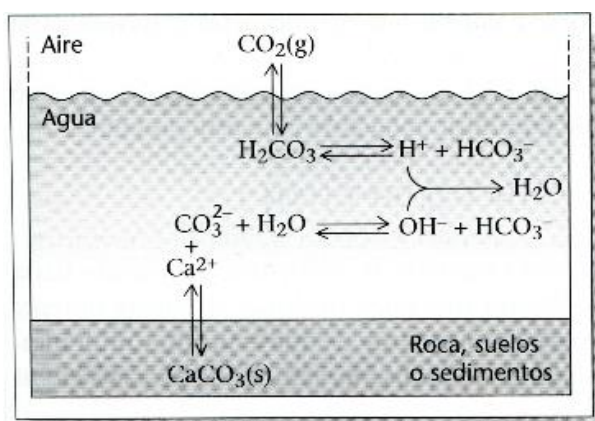


Figura 5.5. Reacción del dióxido de carbono gas con el agua

Por el contrario, la concentración de bicarbonato es mucho mayor en el río Ebro. Esta observación coincide con el hecho de que en el río Ebro la tasa de crecimiento de algas sea muy superior al del río Noguera Pallaresa. Por tanto podemos decir que la

concentración de carbono, tanto en forma de carbonatos como bicarbonatos afecta significativamente al crecimiento de las algas.

Esta apreciación coincide también con que la planta necesite carbono para hacer la fotosíntesis y cuanto más carbono tenga, más fácil le resulta a la alga crecer.

5.4.2. Oxígeno

Cómo explica *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, igual que el carbono es esencial para la supervivencia de las algas debido al uso durante el proceso de la fotosíntesis, el oxígeno es fundamental para que la planta sobreviva por la noche. Durante la noche, el proceso de fotosíntesis no se puede dar debido a la falta de luz del sol y la necesidad de respirar del alga, hace que dependa del oxígeno existente en el agua.

Durante el día, la planta vive con el oxígeno que ella misma produce, pero por la noche tiene demanda de oxígeno externa. La competencia por el oxígeno entre las algas y los animales que puedan existir hace que sea más difícil para la planta y que esta muera.

Las algas, aunque tienden a crecer muy rápido poseen una vida muy corta y el resultado de ello es que una vez muertas, empiezan su descomposición. El proceso consume el oxígeno disuelto en el agua produciendo condiciones de hipoxia.

El parámetro que mide el oxígeno consumido por los microorganismos en materia orgánica de descomposición en la corriente de agua es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

El oxígeno disuelto lo encontramos en parte por el contacto con la atmósfera y el oxígeno del aire, pero también lo encontramos por la descomposición de elementos como el carbonato, nitrato etc. Estos elementos se descomponen separándose en el nutriente que absorberá el alga y en el oxígeno que necesita.

Por tanto será importante ver tanto el contenido de oxígeno disuelto en el agua como la demanda bioquímica de oxígeno. El contenido de oxígeno se puede ver en valor absoluto de oxígeno disuelto o en porcentaje de oxígeno disuelto. Este parámetro, según *Proyecto Río Henares, (n.d)*, se refiere a la cantidad de oxígeno del agua en relación a la cantidad máxima de oxígeno que puede tener a la misma temperatura y presión.

En condiciones normales, la cantidad de oxígeno soluble es fijo y se le llama saturación, aunque existen factores que hacen que este porcentaje varíe. Cuando un

medio acuático produce más oxígeno del que puede disolver se dice que esta sobresaturado, por el contrario, si se consume más oxígeno que el que se produce se habla de un déficit de oxígeno.

Tanto un déficit como un exceso de oxígeno son malos para el medio, un porcentaje inferior al 40% nos indica un mal estado general del agua, niveles superiores al 110% pueden indicar que la masa de agua experimenta un crecimiento desorbitado de algas (eutrofización).

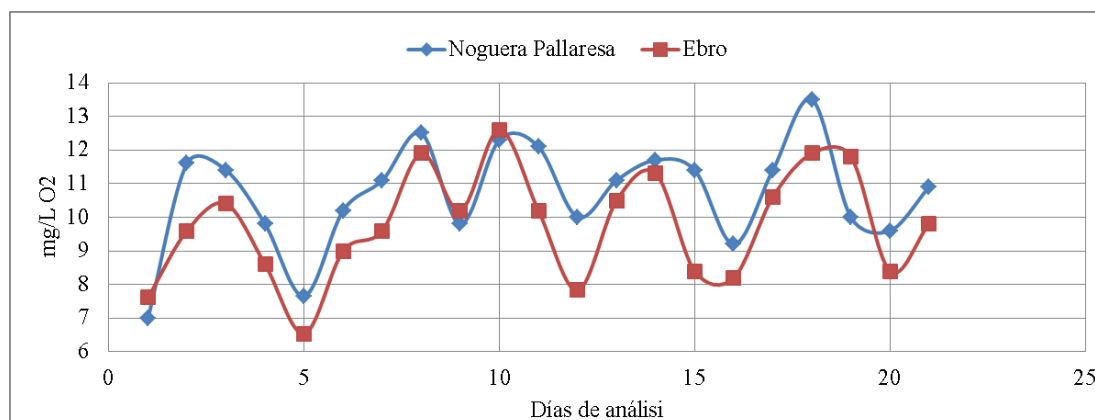
En las siguientes tablas 5.9, 5.10 y 5.11 podremos ver las cantidades de oxígeno, el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno respectivamente. Para este caso de la inhibición del crecimiento biológico, nos interesa que los niveles de oxígeno sean bajos y que el porcentaje de oxígeno disuelto se encuentre por debajo del 110%, valores muy próximos al de saturación son los indicados y óptimos.

Que la los valores de la DBO sean bajos nos indica que existen pocos microorganismos en descomposición, esto se traduce en que existen menos algas y a la vez que estos organismos en descomposición generan menos nutrientes que para un futuro serán adecuados para el crecimiento de futuras algas.

En la siguiente tabla 5.9 se muestran los datos de oxígeno disuelto para los dos ríos, con su correspondiente gráfica comparativa en la figura 5.6. En ella se pueden ver valores con un comportamiento que oscila entre valores de entre 6 y 14. Siendo en general, superiores en el río Ebro.

Tabla 5.9. Datos de los valores de oxígeno disuelto en el agua

Noguera Pallaresa (mg/l O ₂)			Ebro (mg/l O ₂)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
0	19/07/2007	7,00	0	26/08/2007	7,61
1	30/10/2007	11,60	1	13/11/2007	9,60
2	27/02/2008	11,40	2	18/02/2008	10,40
3	15/05/2008	9,80	3	12/05/2008	8,60
4	01/08/2008	7,66	4	14/07/2008	6,54
5	21/08/2008	10,20	5	15/09/2008	9,00
6	20/11/2008	11,10	6	09/12/2008	9,60
7	24/02/2009	12,50	7	17/02/2009	11,90
8	27/05/2009	9,80	8	25/05/2009	10,20
9	28/02/2013	12,30	9	31/01/2013	12,60
10	02/05/2013	12,10	10	18/04/2013	10,20
11	01/10/2013	10,01	11	26/08/2013	7,83
12	13/11/2013	11,10	12	19/12/2013	10,50
13	11/02/2014	11,70	13	13/03/2014	11,30
14	14/05/2014	11,40	14	24/06/2014	8,40
15	23/09/2014	9,20	15	29/09/2014	8,20
16	18/11/2014	11,40	16	09/12/2014	10,60
17	11/02/2015	13,50	17	03/03/2015	11,90
18	14/05/2015	10,00	18	23/06/2015	11,80
19	15/09/2015	9,60	19	15/09/2015	8,40
20	11/11/2015	10,90	20	21/12/2015	9,80

Figura 5.6. Gráfico comparativo de los valores de oxígeno en mg/L O₂

En la siguiente tabla 5.10 se pueden ver los valores de porcentaje de saturación de oxígeno, en la figura 5.7 se puede ver la correspondiente gráfica comparativa de estos valores.

Tabla 5.10. Valores de los porcentajes de oxígeno disuelto

Noguera Pallaresa (%sat.)			Ebro (%sat.)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
0	19/07/2007	104,0	0	17/09/2007	103,0
1	30/10/2007	109,0	1	13/11/2007	95,3
2	27/02/2008	105,9	2	18/02/2008	95,5
3	15/05/2008	92,0	3	12/05/2008	90,4
4	01/08/2008	83,7	4	14/07/2008	78,6
5	21/08/2008	110,6	5	15/09/2008	104,6
6	20/11/2008	99,8	6	09/12/2008	89,7
7	24/02/2009	112,3	7	17/02/2009	104,1
8	27/05/2009	95,7	8	25/05/2009	117,9
9	06/08/2009	96,4	9	05/09/2012	101,0
10	28/02/2013	100,8	10	30/10/2012	90,50
11	02/05/2013	105,0	11	31/01/2013	107,4
12	01/10/2013	98,5	12	18/04/2013	103,0
13	13/11/2013	102,5	13	18/07/2013	99,0
14	11/02/2014	97,7	14	26/08/2013	94,6
15	14/05/2014	102,0	15	19/12/2013	97,2
16	23/09/2014	97,6	16	13/03/2014	102,8
17	18/11/2014	98,8	17	24/06/2014	98,5
18	11/02/2015	106,8	18	29/09/2014	97,1
19	14/05/2015	90,0	19	09/12/2014	99,9
20	15/09/2015	102,0	20	03/03/2015	105,6
21	11/11/2015	100,5	21	23/06/2015	146,6
				15/09/2015	104,4
				21/12/2015	97,6

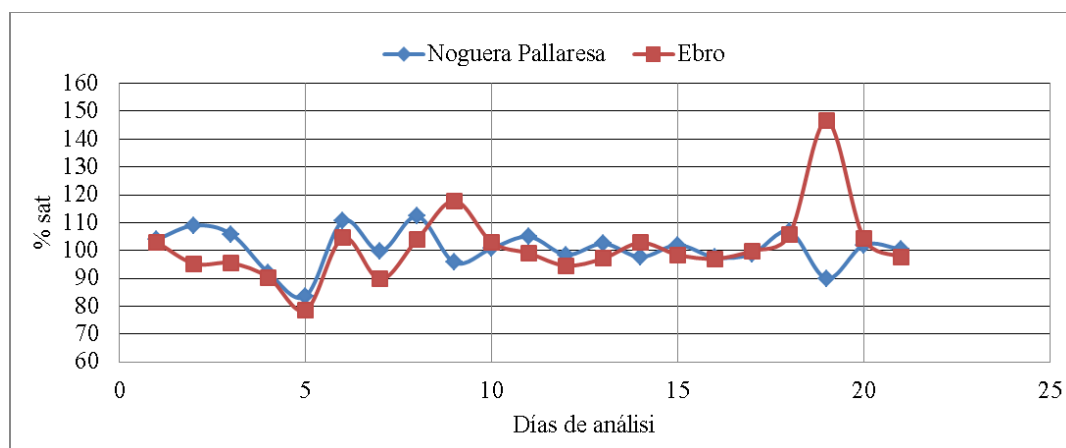


Figura 5.7. Gráfico comparativo del porcentaje de saturación de oxígeno en % sat.

Como se puede ver en la anterior tabla, en ambos casos el agua se encuentra siempre en valores cercanos al de saturación siendo en ocasiones tanto sobresaturado como con deficiencia de oxígeno. Sin embargo en alguna toma de muestras se pueden ver que las aguas tienen valores por encima del 110% de saturación.

Estar ligeramente por encima del punto de saturación no quiere decir que el agua presente un crecimiento desorbitado de algas, pero en los casos de más del 110% es un claro indicador de que existen más algas que las que deberían. En el caso particular del río Ebro podemos ver como el porcentaje llega hasta el 146,6% en junio de 2015, esto es un claro indicador que en junio de 2015 la población de algas era muy superior al que sería de esperar.

Tabla 5.11. Valores de la DBO

Noguera Pallaresa (mg/l O ₂)			Ebro (mg/l O ₂)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	27,0	1	17/09/2007	<10,0
2	30/10/2007	<10,0	2	13/11/2007	<10,0
3	27/02/2008	<10,0	3	18/02/2008	<10,0
4	15/05/2008	<10,0	4	12/05/2008	<10,0
5	21/08/2008	<10,0	5	15/09/2008	<10,0
6	20/11/2008	<10,0	6	09/12/2008	<10,0
7	24/02/2009	<10,0	7	17/02/2009	<10,0
8	27/05/2009	<10,0	8	25/05/2009	<10,0
9	28/02/2013	<5,0	9	07/08/2012	11,0
10	02/05/2013	<5,0	10	30/10/2012	5,5
11	13/11/2013	8,0	11	31/01/2013	9,4
12	11/02/2014	<5,0	12	18/04/2013	<5,0
13	14/05/2014	<5,0	13	18/07/2013	6,3
14	23/09/2014	<5,0	14	19/12/2013	6,6
15	18/11/2014	<5,0	15	13/03/2014	<5,0
16	11/02/2015	<5,0	16	24/06/2014	<5,0
17	14/05/2015	<5,0	17	29/09/2014	<5,0
18	15/09/2015	<5,0	18	09/12/2014	7,2
19	11/11/2015	<10,0	19	03/03/2015	7,5
				23/06/2015	7,5
				15/09/2015	6,9
				21/12/2015	<10,0

Se puede observar en los siguientes gráficos que los niveles de oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno son parecidos en ambos casos. En cuanto al valor de oxígeno, el río Ebro presenta en general valores ligeramente menores respecto al del río Noguera Pallaresa por otro lado, en cuanto al porcentaje de oxígeno disuelto el canal de Sant Jaume d'Enveja y el de Gavet de la conca tienen valores semejantes y próximos al

porcentaje de saturación, aunque el río Ebro tenga un pico en junio de 2015 que pudo haber sido dada por la ola de calor que sufrió la zona, que fue una de las más calurosas que se recuerda.

Viendo los datos anteriores de las gráficas anteriores, podemos decir que la cantidad de oxígeno aunque favorezca claramente el crecimiento biológico, no es un parámetro determinante para las diferencias existentes en el crecimiento de algas en el canal de Sant Jaume d'Enveja y en el canal de Gavet de la Conca.

5.4.3. Nitrógeno

Cómo se explica en la *UAM (n.d)*, el nitrógeno, pertenece al grupo de los tres nutrientes más importantes para el desarrollo de cualquier planta, sea acuática o terrestre. Muchos fertilizantes utilizados son con base de nitrógeno debido a sus grandes propiedades y sus ayudas para el correcto desarrollo de la planta.

La función del nitrógeno dicho de una forma poco técnica es la de crear masa vegetal., siendo más técnicos, el papel principal del nitrógeno en el desarrollo de la planta es el de formar parte de las proteínas vegetales.

Otra función que tiene, es la de reserva, que mantiene “viva” una semilla sin ser plantada o ser la energía para que se transforme en planta una vez sembrada u otros órganos reproductivos. El nitrógeno a nivel funcional interviene en los siguientes procesos enzimáticos:

- Oxidasas, catalasas y peroxidasas.
- Deshidrogenasas, hidrolasas y carboxilasas
- Nucleoproteínas
- Transforforilasas y transaminasas

También estimula la producción de auxinas, forma la lignina, interviene en la producción de clorofila y otros muchos procesos. En el caso de plantas acuáticas, el nitrógeno se absorbe en forma de amonio y de iones nitrato y nitrito.

Las plantas con deficiencia de nitrógeno, presentan varias características. En el caso aplicado de las algas, los síntomas que puede tener son los siguientes:

- Menor crecimiento foliar y más pequeñas
- Disminución del tamaño celular
- Disminución de síntesis de proteínas
- Las enfermedades, heladas y granizadas, producen mayores efectos
- El crecimiento se hace lento y puede llegar a paralizarse

Por el contrario, un exceso de nitrógeno produce un exceso de follaje. Por tanto, viendo todos los puntos en los que afecta y las consecuencias que tiene el nitrógeno, cabe esperar que en un ambiente con menos nitrógeno tendremos menos crecimiento de las algas que en uno con exceso de nitrógeno.

En las siguientes tablas 5.12 y 5.13 se muestran las cantidades de nitritos y de nitratos respectivamente. Se puede apreciar que en el caso de los nitritos las cantidades que encontramos en los distintos muestres son ínfimos con respecto a la cantidad de nitratos, inferiores a 0,1 en todos los casos. Debido a que la aportación de nitrato por parte de los nitritos es despreciable no se realizará la comparación entre estos iones. El valor total de nitrato que absorben las algas no varía prácticamente con estos valores tan pequeños. A continuación de las tablas, en la figura 5.8 se mostrará el gráfico comparativo entre los nitratos.

Tabla 5.12. Tabla de la cantidad de NO₂ en los ríos

Noguera Pallaresa (mg/l NO ₂)			Ebro (mg/l NO ₂)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	0,010	1	26/08/2007	0,015
2	30/10/2007	0,010	2	17/09/2007	0,030
3	01/08/2008	0,030	3	13/11/2007	0,060
4	27/02/2008	0,010	4	18/02/2008	0,030
5	15/05/2008	0,010	5	12/05/2008	0,080
6	21/08/2008	0,010	6	14/07/2008	0,030
7	20/11/2008	0,010	7	15/09/2008	0,030
8	24/02/2009	0,010	8	09/12/2008	0,060
9	27/05/2009	0,010	9	17/02/2009	0,090
10	06/08/2009	0,020	10	25/05/2009	0,030
11	28/02/2013	0,020	11	07/08/2012	0,060
12	02/05/2013	0,020	12	30/10/2012	0,024
13	13/11/2013	0,020	13	31/01/2013	0,094
14	11/02/2014	0,020	14	18/04/2013	0,063
15	14/05/2014	0,020	15	18/07/2013	0,091
16	23/09/2014	0,020	16	19/12/2013	0,049
17	18/11/2014	0,020	17	13/03/2014	0,067
18	11/02/2015	0,020	18	24/06/2014	0,020
19	14/05/2015	0,020	19	29/09/2014	0,030
20	15/09/2015	0,020	20	09/12/2014	0,078
21	11/11/2015	0,020	21	03/03/2015	0,090
				23/06/2015	0,042
				15/09/2015	0,036
				21/12/2015	0,038

Tabla 5.13. Tabla de la cantidad de NO₃ en los ríos

Noguera Pallaresa (mg/l NO ₃)			Ebro (mg/l NO ₃)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	30/10/2007	0,5	1	26/08/2007	1,0
2	27/02/2008	0,6	2	17/09/2007	10,2
3	15/05/2008	0,7	3	13/11/2007	12,6
4	01/08/2008	1,3	4	18/02/2008	14,3
5	21/08/2008	1,0	5	12/05/2008	9,3
6	20/11/2008	0,7	6	14/07/2008	10,3
7	24/02/2009	1,0	7	15/09/2008	7,5
8	27/05/2009	0,5	8	09/12/2008	10,8
9	06/08/2009	5,0	9	17/02/2009	9,3
10	28/02/2013	1,5	10	25/05/2009	6,8
11	02/05/2013	1,2	11	07/08/2012	3,3
12	13/11/2013	1,0	12	30/10/2012	7,7
13	11/02/2014	1,3	13	31/01/2013	8,9
14	14/05/2014	1,0	14	18/04/2013	8,4
15	23/09/2014	1,1	15	18/07/2013	8,5
16	18/11/2014	1,0	16	19/12/2013	12,4
17	11/02/2015	1,0	17	13/03/2014	7,7
18	14/05/2015	1,0	18	24/06/2014	6,6
19	15/09/2015	1,0	19	29/09/2014	10,1
20	11/11/2015	1,0	20	09/12/2014	12,8
				03/03/2015	10,1
				23/06/2015	10,2
				15/09/2015	11,6
				21/12/2015	15,4

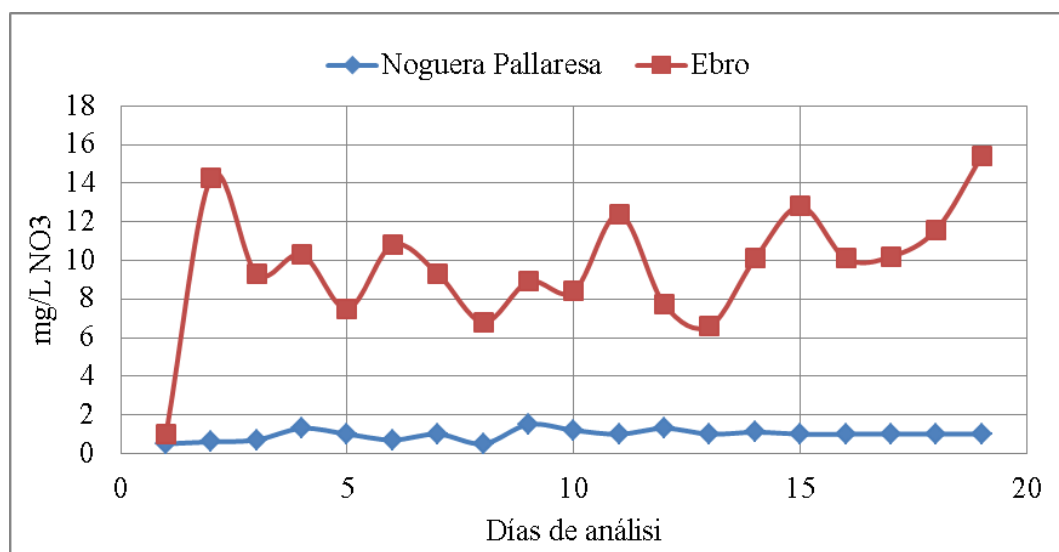


Figura 5.8. Gráfico comparativo de los niveles de nitratos

Viendo los resultados tanto de la tabla como del gráfico comparativo y sin lugar a dudas, podemos ver que los niveles de nitratos en las aguas del río Ebro son mucho mayores a los de las aguas del río Noguera Pallaresa. Siendo lo importante que es el nitrato en el crecimiento de las plantas, podemos decir que este parámetro es sin duda alguna muy influyente respecto a las diferencias de crecimiento entre ambos canales.

Dado que el río Noguera Pallaresa es afluente del río Segre que a su vez es afluente del río Ebro, la diferencia existente podría ser dada por la gran cantidad de EDAR que alberga el río Ebro. En las estaciones depuradoras que tienen reactores convencionales sin eliminación de nitrógeno, el aproximadamente 72,2% del nitrógeno total que entra acaba saliendo en forma de nitratos.

En caso de ser EDAR con reactores biológicos con eliminación de nitrógeno no se producen vertidos de nitratos disueltos en el agua. Dado que muchas de las depuradoras de ciudades pequeñas o pueblos no deben disponer de estos reactores biológicos de eliminación de nitrógeno, podemos atribuir a ellas la gran cantidad de nitrógeno encontrado en el Ebro.

También son grandes productores de nitratos las aguas provenientes de zonas agrícolas. Tanto filtrándose y llegando al río como agua subterránea como desechos agrícolas que se puedan arrojar al río. Dado que la cuenca del Ebro cuenta con muchas zonas de uso agrícola también debe tenerse en cuenta el nitrógeno que proviene de estos usos.

5.4.4. Fósforo

Igual que el nitrato, el fósforo pertenece al grupo de los tres nutrientes más importantes para el desarrollo de las algas. De la misma forma el fósforo es esencial para el crecimiento del alga y un exceso puede provocar que crezcan de forma descontrolada y en gran cantidad.

Cómo explica *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, los fosfatos provienen básicamente de los excrementos tanto de los peces o animales que realizan sus funciones vitales cerca del río como de las EDAR proviniendo de las aguas residuales. Actualmente los fosfatos no se eliminan en los procesos de estas depuradoras y por tanto, casi el 80% de los fosfatos que entran en la estación depuradora sale disuelto en el agua y vertido en el río, el otro 20% quedan con los lodos de los tratamientos. Existen procesos de las depuradoras que eliminan entre el 60% y el 90% del fósforo.

Las algas tienen la capacidad de desarrollarse a partir de niveles de PO_4^{3-} de solo 0,05 mg/L, y para la inhibición de su crecimiento se requieren niveles por debajo de

estos. Para prevenir el crecimiento, se debe actuar de forma contundente a la eliminación de los fosfatos.

Químicamente, el fosfato se elimina comúnmente por precipitación. Estos procesos son capaces de eliminar por lo menos un 90 o 95% a bajo coste. De forma usual se usa la cal para la eliminación de los fosfatos por su bajo coste y la posibilidad de su regeneración, aunque tiene una baja solubilidad y precipita lentamente. Los componentes que se generan con la cal, precipitan pero no forman colonias. En la siguiente tabla 5.14 se muestra los distintos compuestos usados para la eliminación del fósforo y los productos resultantes.

Tabla 5.14. Elementos para la eliminación del fosfato

Precipitantes	Productos
Ca(OH)_2	$\text{Ca}_5\text{OH(PO}_4)_3$ (Hidroxiapatita)
$\text{Ca(OH)}_2 + \text{NaF}$	$\text{Ca}_5\text{F(PO}_4)_3$
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	AlPO_4
FeCl_3	FePO_4
MgSO_4	MgNH_4PO_4

Como se puede ver en la tabla 5.14 los niveles de fosfatos en la Noguera Pallaresa entre 2007 y 2009 estaban por debajo del umbral inferior de 0,05 mg/L niveles necesarios para que las algas puedan tener un buen desarrollo. En el intervalo comprendido entre 2009 y 2013 no se tienen datos, partir del año 2013 los niveles de fosfatos son de al menos 0,05 mg/L, umbral comentado de mínimo a partir del cual las algas tienen un buen desarrollo.

Por su parte el Ebro presenta valores superiores a dicho límite inferior en todos sus análisis, por tanto tiene en todos sus años un favorecimiento del crecimiento de las algas motivado por los niveles de fósforo.

A continuación de la tabla 5.15 que se muestran los valores, podemos ver el gráfico comparativo en la figura 5.9. Se puede ver un pico de los niveles de fósforo en enero de 2013, probablemente dado por un vertido puntual de alguna empresa o el resultado de aguas vertidas accidentalmente tras una fuerte lluvia.

Tabla 5.15. Valores de fósforo

Noguera Pallaresa (mg/l P)			Ebro (mg/l P)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	0,033	1	17/09/2007	0,069
2	30/10/2007	0,033	2	13/11/2007	0,056
3	27/02/2008	0,033	3	18/02/2008	0,047
4	15/05/2008	0,033	4	12/05/2008	0,060
5	21/08/2008	0,033	5	15/09/2008	0,062
6	20/11/2008	0,033	6	09/12/2008	0,053
7	24/02/2009	0,033	7	17/02/2009	0,056
8	27/05/2009	0,033	8	25/05/2009	0,035
9	28/02/2013	0,050	9	07/08/2012	0,310
10	02/05/2013	0,050	10	30/10/2012	0,050
11	13/11/2013	0,060	11	31/01/2013	0,160
12	11/02/2014	0,050	12	18/04/2013	0,050
13	14/05/2014	0,050	13	18/07/2013	0,060
14	23/09/2014	0,050	14	19/12/2013	0,070
15	18/11/2014	0,050	15	13/03/2014	0,050
16	11/02/2015	0,050	16	24/06/2014	0,050
17	14/05/2015	0,050	17	29/09/2014	0,050
18	15/09/2015	0,050	18	09/12/2014	0,050
19	11/11/2015	0,050	19	03/03/2015	0,060
				23/06/2015	0,050
				15/09/2015	0,050
				21/12/2015	0,070

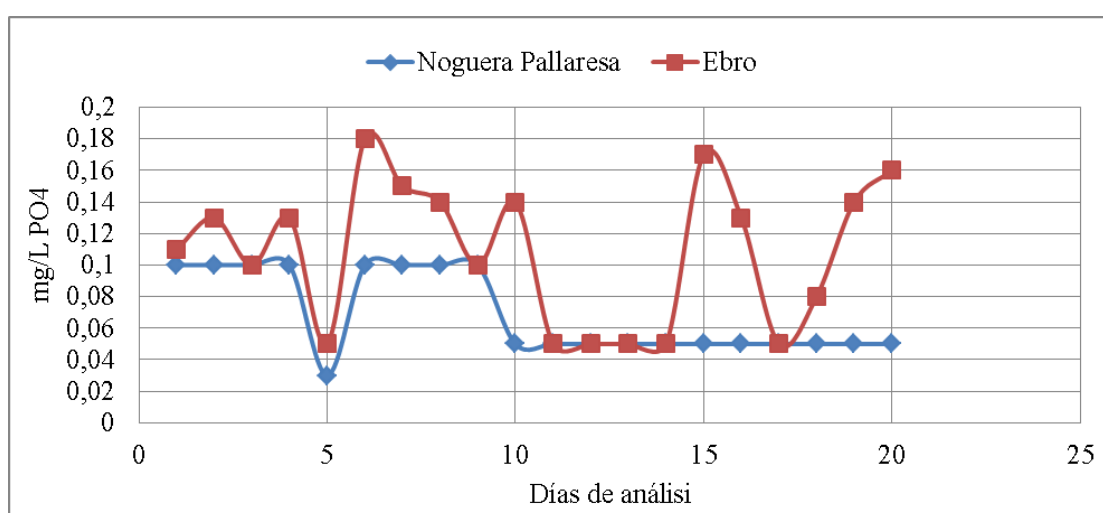


Figura 5.9. Gráfico comparativo de los niveles de fósforo

Podemos ver en el gráfico comparativo que en general el río Ebro presenta mayores niveles de fósforo que la Noguera Pallaresa. Esto puede darse a los mismos factores que dan un mayor nivel de nitratos, la cantidad de EDAR y la agricultura. A parte de las heces de los animales que habitan en las distintas zonas de la cuenca del Ebro.

En la siguiente tabla 5.16 podemos ver los valores de fosfatos disueltos en el agua y en la figura 5.10 vemos la comparación entre los distintos valores de fosfatos.

Tabla 5.16. Valores de los fosfatos

Noguera Pallaresa (mg/l PO4)			Ebro (mg/l PO4)		
Número	Número	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	0,10	1	26/08/2007	0,11
2	30/10/2007	0,10	2	17/09/2007	0,21
3	27/02/2008	0,10	3	13/11/2007	0,13
4	15/05/2008	0,10	4	18/02/2008	0,10
5	01/08/2008	0,03	5	12/05/2008	0,13
6	21/08/2008	0,10	6	14/07/2008	0,05
7	20/11/2008	0,10	7	15/09/2008	0,18
8	24/02/2009	0,10	8	09/12/2008	0,15
9	27/05/2009	0,10	9	17/02/2009	0,14
10	06/08/2009	0,15	10	25/05/2009	0,10
11	28/02/2013	0,05	11	07/08/2012	0,10
12	02/05/2013	0,05	12	30/10/2012	0,05
13	13/11/2013	0,05	13	31/01/2013	0,14
14	11/02/2014	0,05	14	18/04/2013	0,05
15	14/05/2014	0,05	15	18/07/2013	0,17
16	23/09/2014	0,05	16	19/12/2013	0,05
17	18/11/2014	0,05	17	13/03/2014	0,05
18	11/02/2015	0,05	18	24/06/2014	0,05
19	14/05/2015	0,05	19	29/09/2014	0,17
20	15/09/2015	0,05	20	09/12/2014	0,13
21	11/11/2015	0,05	21	03/03/2015	0,05
				23/06/2015	0,08
				15/09/2015	0,14
				21/12/2015	0,16

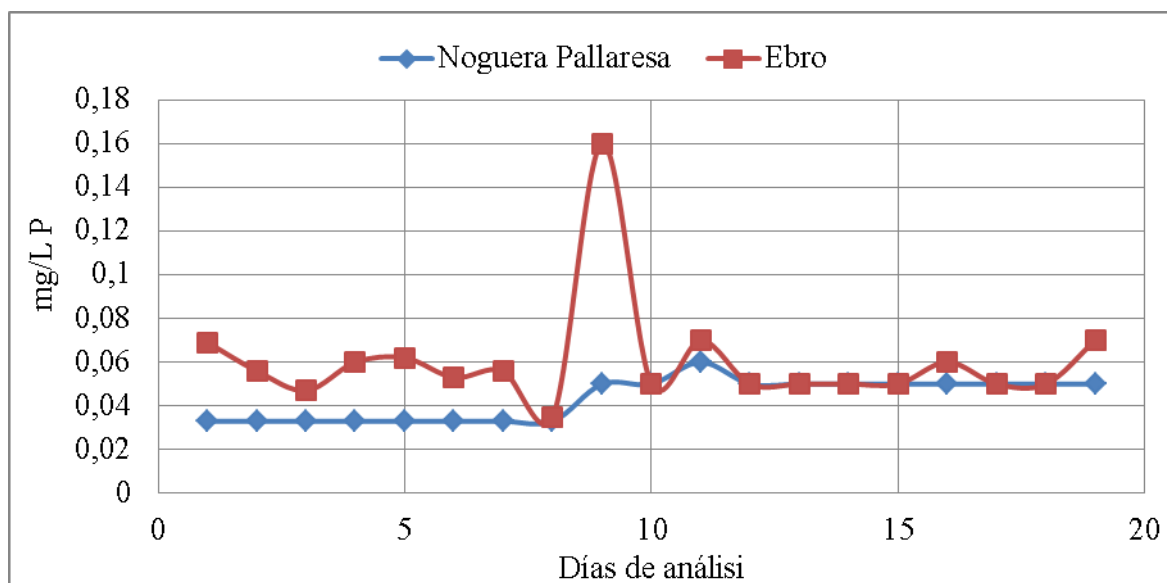


Figura 5.10. Gráfico comparativo de los niveles de fósforo

Podemos ver, que igual que en el fósforo se superan en todos los casos menos el dato tomado el día 01/08/2008 el umbral mínimo necesario.

El hecho de que en el Ebro siempre sea igual o superior que en la Noguera Pallaresa quiere decir que el aumento de fósforo afecta significativamente al crecimiento celular de las plantas.

5.4.5. Azufre

Según *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, el azufre, junto al magnesio y al calcio, es uno de los nutrientes secundarios para el crecimiento de las plantas. Se consideran secundarios debido a la cantidad que se necesita, no a su importancia, su necesidad para el crecimiento es tan importante como los principales o los micronutrientes.

Las algas transforman los sulfatos existentes en el agua en azufre libre que usan para crecer. En la siguiente tabla 5.17 veremos los niveles de sulfatos que existen en las aguas de los ríos Ebro y Noguera Pallaresa, estos sulfatos pasarán a ser azufre, nutriente del cual se alimentan las algas.

Como se puede apreciar en la tabla siguiente, los niveles de sulfatos en el río Ebro son considerablemente mayores que en el río Noguera Pallaresa. En la siguiente figura 5.11 queda reflejado como en todos los controles en los distintos años el número de sulfatos es mucho mayor en el río Ebro que en la Noguera Pallaresa.

Tabla 5.17. Valores de los sulfatos

Noguera Pallaresa (mg/l SO ₄)			Ebro (mg/l SO ₄)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	33,0	1	17/09/2007	353,2
2	30/10/2007	30,0	2	13/11/2007	315,5
3	27/02/2008	26,1	3	18/02/2008	294,4
4	15/05/2008	9,20	4	12/05/2008	139,1
5	21/08/2008	32,6	5	15/09/2008	164,7
6	20/11/2008	27,9	6	09/12/2008	246,5
7	24/02/2009	31,7	7	17/02/2009	101,3
8	27/05/2009	8,80	8	25/05/2009	129,6
9	28/02/2013	28,8	9	30/10/2012	363,0
10	02/05/2013	10,5	10	31/01/2013	101,0
11	13/11/2013	5,90	11	18/04/2013	102,0
12	11/02/2014	21,5	12	18/07/2013	135,0
13	14/05/2014	9,10	13	19/12/2013	273,0
14	23/09/2014	24,8	14	13/03/2014	103,0
15	18/11/2014	18,8	15	24/06/2014	166,0
16	11/02/2015	22,7	16	29/09/2014	223,0
17	14/05/2015	7,50	17	09/12/2014	281,0
18	15/09/2015	23,9	18	03/03/2015	101,0
19	11/11/2015	23,3	19	23/06/2015	207,0
				15/09/2015	228,0
				21/12/2015	322,0

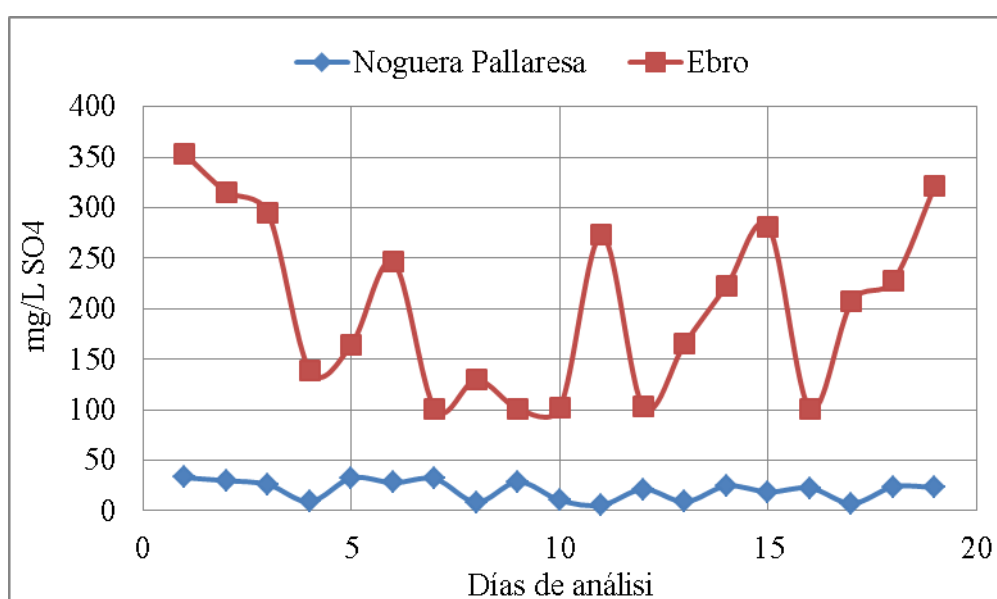


Figura 5.11. Valores de los sulfatos

Como queda reflejado, la cantidad de sulfatos en el Ebro es siempre mayor y supera con creces a la Noguera Pallaresa. Los sulfatos no son uno de los nutrientes indispensables para el crecimiento biológico pero sin duda el hecho de que en el Ebro las plantas crezcan en mayor modo que en la Noguera y teniendo estos números tan dispares, podemos decir, que el sulfato ayuda a la diferencia entre las cantidades de algas en ambos canales.

5.4.6. Magnesio

Perteneciente al grupo de los nutrientes secundarios y acuerdo con lo dicho por *Promix. (2015)*, el magnesio imprescindible por ser la molécula central de la clorofila. Por tanto, sin el magnesio no podría darse la fotosíntesis, ya que la clorofila es quien lleva a cabo el proceso. El magnesio también interviene en innumerables enzimas necesarias para el desarrollo a parte de contribuir en la síntesis de proteínas.

El magnesio se encuentra en multitud de fertilizantes, por tanto, el vertido de aguas provenientes de la agricultura puede hacer aumentar el magnesio que conlleva el agua de los ríos.

En la siguiente tabla 5.18 se muestran los valores de magnesio para ambos canales. Para este nutriente se tienen pocos datos y en el caso de la Noguera, solo hasta 2009. En la gráfica 5.12 se mostrará la comparativa entre valores de mismos años y semejantes épocas del año para los valores de magnesio.

Tabla 5.18. Valores de la cantidad de magnesio

Noguera Pallaresa (mg/l Mg)			Ebro (mg/l Mg)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	3,5	1	17/09/2007	30,2
2	30/10/2007	3,1	2	13/11/2007	36,8
3	27/02/2008	3,0	3	18/02/2008	36,6
4	15/05/2008	1,3	4	12/05/2008	15,5
5	21/08/2008	3,6	5	15/09/2008	21,6
6	20/11/2008	3,8	6	09/12/2008	25,6
7	24/02/2009	3,1	7	17/02/2009	14,4
8	27/05/2009	2,0	8	25/05/2009	17,7
				30/10/2012	52,9
				31/01/2013	12,3

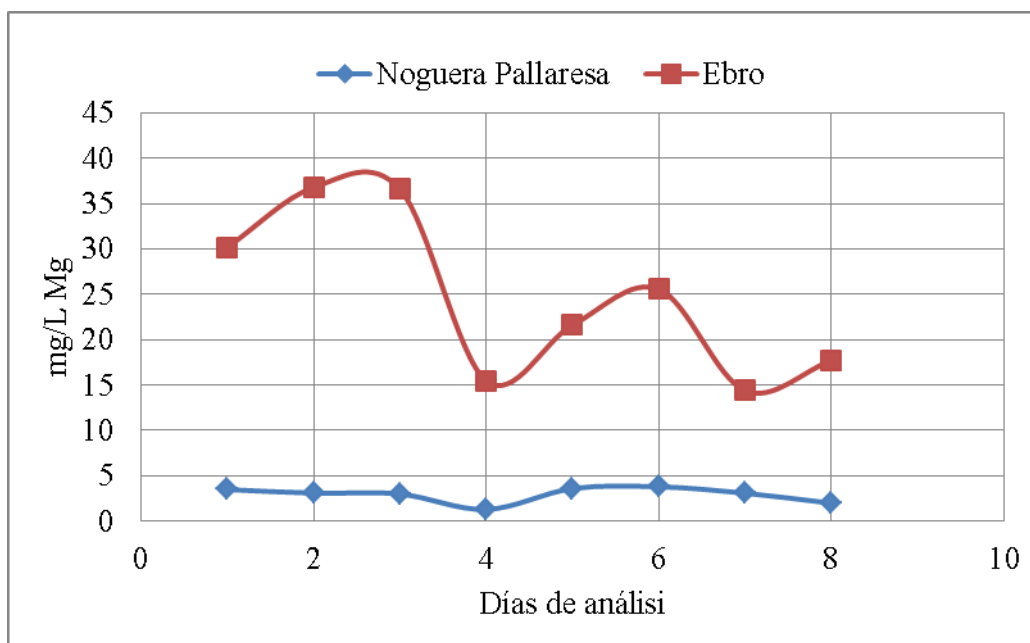


Figura 5.12. Comparación de la cantidad de magnesio en ambos ríos

Como se aprecia, la cantidad de magnesio en el canal de Sant Jaume d'Enveja es notablemente superior a los niveles en Gavet de la Conca. Al ser un nutriente imprescindible para la mayor parte de las funciones vitales de la planta, dicha diferencia puede dar lugar al mayor crecimiento que se da en el canal de Sant Jaume d'Enveja.

5.4.7. Calcio

El último del grupo de los tres nutrientes secundarios según cuenta *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, es el calcio. Su función es la de mantener las paredes celulares unidas. Cuando la planta presenta déficit de calcio, los nuevos tejidos como: las puntas de las raíces, las hojas jóvenes y las puntas de los brotes presentan un crecimiento distorsionado debido a la formación incorrecta de la pared celular. Otra función que tiene el calcio es la de activar ciertas enzimas y enviar señales que coordinan ciertas actividades celulares.

En la siguiente tabla 5.19 se muestran los niveles de calcio que tienen las aguas de los canales. En el gráfico comparativo 5.13 se verán las diferencias de calcio en ambos casos. Se aprecian valores significativamente superiores en el Ebro que en la Noguera Pallaresa.

Tabla 5.19. Valores de la cantidad de calcio

Noguera Pallaresa (mg/l Ca)			Ebro (mg/l Ca)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	32,10	1	17/09/2007	142,5
2	30/10/2007	32,10	2	13/11/2007	145,7
3	27/02/2008	33,20	3	18/02/2008	166,5
4	15/05/2008	16,60	4	12/05/2008	91,10
5	21/08/2008	39,40	5	15/09/2008	108,0
6	20/11/2008	34,50	6	09/12/2008	109,3
7	24/02/2009	34,10	7	17/02/2009	91,20
8	27/05/2009	17,00	8	25/05/2009	83,60
				30/10/2012	142,0
				31/01/2013	80,10

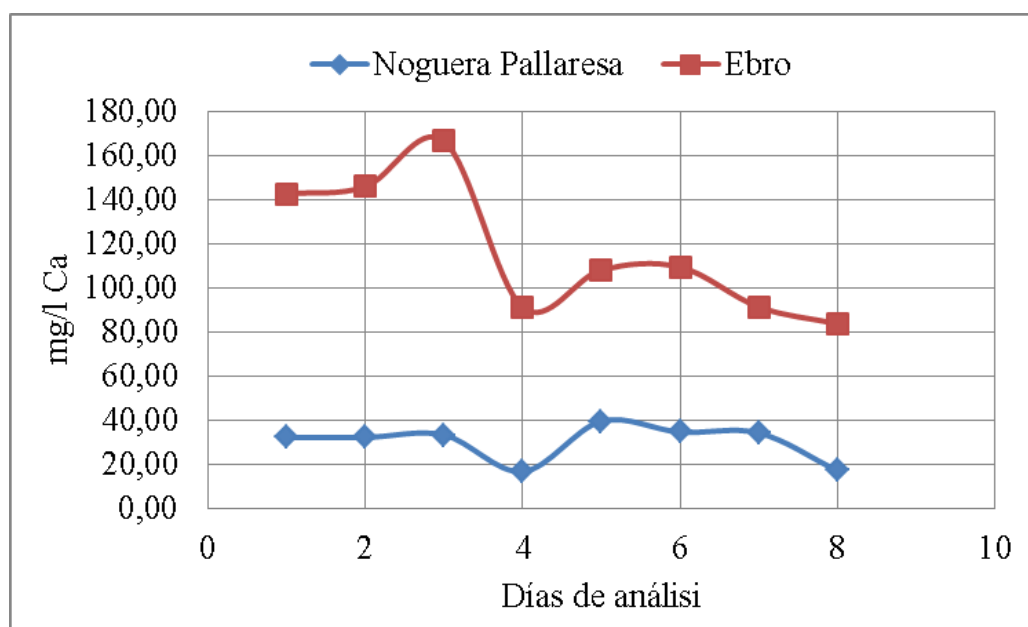


Figura 5.13. Gráfico comparativo de los niveles de calcio

Como se aprecia en el gráfico anterior, los niveles de calcio son sensiblemente superiores en el Ebro que en la Noguera Pallaresa. Cabe indicar que dicha diferencia en el contenido de calcio y siendo este un componente fundamental en el desarrollo de las paredes celulares y por tanto encargado del crecimiento biológico en general de la planta, es uno de los múltiples factores que ayudan a las fuertes variaciones en el crecimiento en ambos ríos.

5.5. AFECTACIÓN DE LOS MICRONUTRIENTES

Cómo cuenta *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, los micronutrientes son nutrientes esenciales, que aunque no aportan energía son necesarios para los distintos procesos metabólicos de los organismos vivos. Desempeñan funciones catalizadoras en el metabolismo. Tanto las vitaminas como los minerales pertenecen a este tipo de nutriente, en el caso de las plantas, únicamente encontramos minerales.

Estos tipos de nutrientes son requeridos en muy baja concentración para el crecimiento de las algas, el rango de concentraciones es de micro a miligramos por litro. Algunos de estos nutrientes en exceso pueden acabar siendo venenosos, un caso conocido es el cobre, que en exceso es un potente alguicida.

En este apartado se compararán diversos tipos de micronutrientes de los que se encuentran en los dos canales. La función de los cloruros y del magnesio es igual que algunos de los macronutrientes, mantener la presión osmótica y el equilibrio iónico, estos micronutrientes pueden encontrarse en grandes cantidades aunque no se consuman en su totalidad. Los otros micronutrientes aparecen en pequeñas cantidades y al añadirlos en exceso son venenosos. Estos son cofactores de enzimas y por tanto imprescindibles para algunas especies de microalgas. A veces se encuentran algunas vitaminas entre los micronutrientes necesarios.

Los micronutrientes en cuestión son: el cloruro, el magnesio y la conductividad eléctrica del agua. La conductividad eléctrica es la capacidad de un material para dejar circular libremente la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica del agua pura es nula, lo que hace circular libremente la electricidad en el agua son los distintos sólidos disueltos. Ya que es difícil medir con exactitud los niveles de todos los sólidos disueltos usaremos este parámetro como indicador del nivel de concentración de estos.

En la siguiente tabla 5.20 se muestran las concentraciones de cloro a lo largo de estos años. Una vez vista la tabla se realizará la comparativa en la figura 5.14 donde apreciaremos las diferencias que existen en los niveles de cloro. Para realizar la comparativa escogeremos valores en años y épocas semejantes, por tanto, como del río Noguera Pallaresa no tenemos datos de 2012, los valores correspondientes a este año en el Ebro no entran en la comparación.

Tabla 5.20. Valores de la cantidad de cloro

Noguera Pallaresa (mg/l Cl)			Ebro (mg/l Cl)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	29,2	1	17/09/2007	251,2
2	30/10/2007	17,1	2	13/11/2007	243,7
3	27/02/2008	16,5	3	18/02/2008	231,9
4	15/05/2008	2,40	4	12/05/2008	106,3
5	21/08/2008	39,5	5	15/09/2008	93,40
6	20/11/2008	15,2	6	09/12/2008	171,1
7	24/02/2009	18,9	7	17/02/2009	64,30
8	27/05/2009	3,10	8	25/05/2009	84,50
9	28/02/2013	26,3	9	31/01/2013	76,40
10	02/05/2013	7,00	10	18/04/2013	75,40
11	13/11/2013	7,00	11	19/12/2013	200,0
12	11/02/2014	15,1	12	13/03/2014	67,30
13	14/05/2014	7,00	13	24/06/2014	279,0
14	23/09/2014	8,30	14	29/09/2014	121,0
15	18/11/2014	8,80	15	09/12/2014	189,0
16	11/02/2015	14,7	16	03/03/2015	52,10
17	14/05/2015	7,00	17	23/06/2015	116,0
18	15/09/2015	21,2	18	15/09/2015	200,0
19	11/11/2015	20,2	19	21/12/2015	353,0

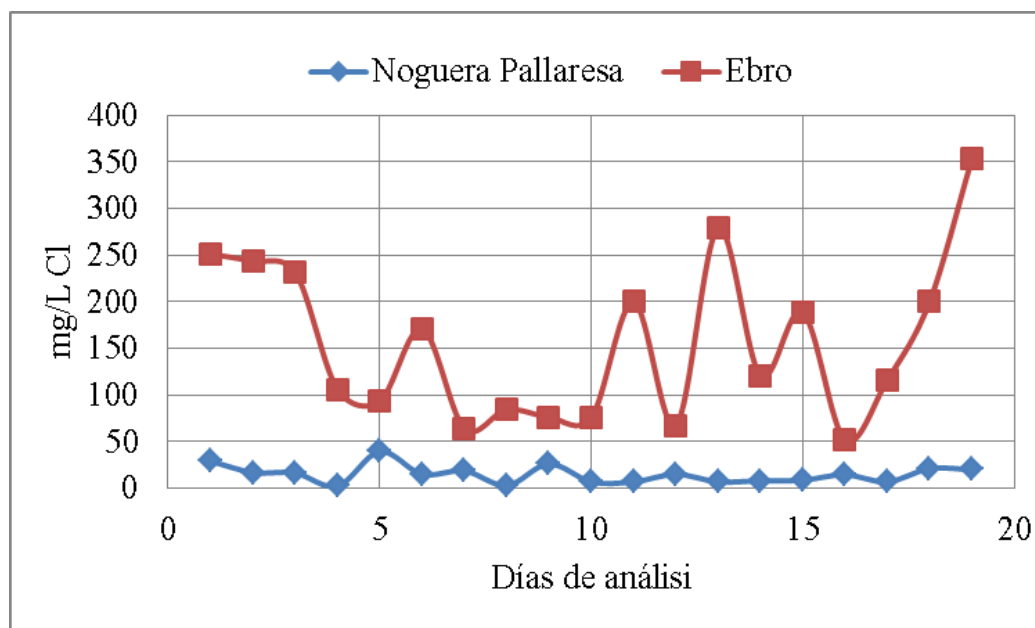


Figura 5.14. Comparativa entre los niveles de cloro

Seguidamente en la tabla 5.21 se mostrará la tabla de niveles de concentración de magnesio y la correspondiente comparativa se realizará en la figura 5.15. Como podemos ver tanto los niveles de cloro como magnesio son mucho más elevados en las aguas del canal de Sant Jaume d'Enveja que en las del canal de Gavet de la Conca.

Tabla 5.21. Valores de la cantidad de magnesio

Noguera Pallaresa (mg/l Mg)			Ebro (mg/l Mg)		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	3,5	1	17/09/2007	30,2
2	30/10/2007	3,1	2	13/11/2007	36,8
3	27/02/2008	3,0	3	18/02/2008	36,6
4	15/05/2008	1,3	4	12/05/2008	15,5
5	21/08/2008	3,6	5	15/09/2008	21,6
6	20/11/2008	3,8	6	09/12/2008	25,6
7	24/02/2009	3,1	7	17/02/2009	14,4
8	27/05/2009	2,0	8	25/05/2009	17,7
				30/10/2012	52,9
				31/01/2013	12,3

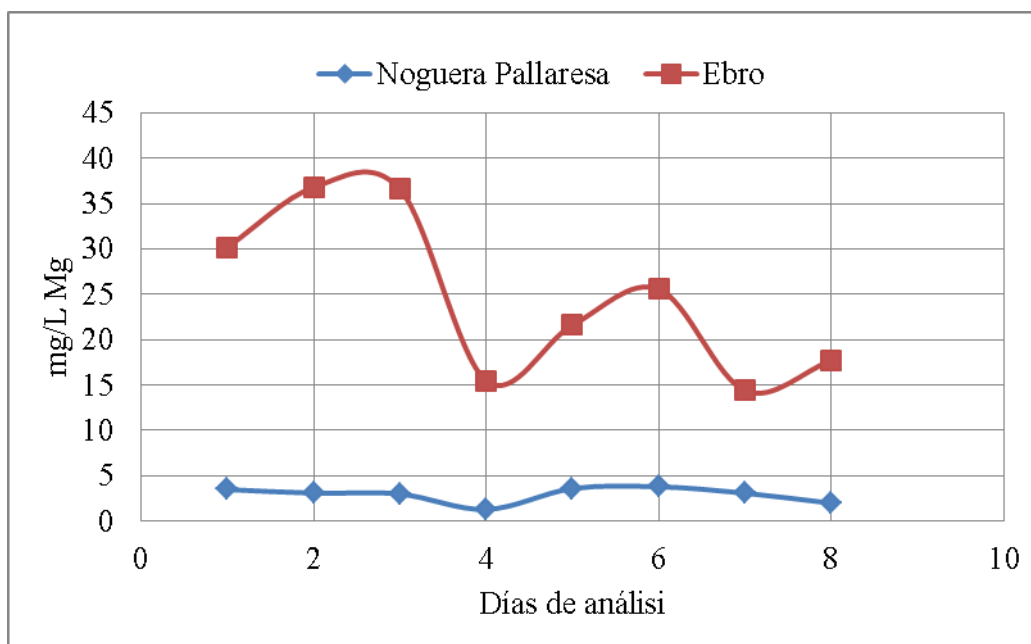


Figura 5.15. Comparativa entre los niveles de magnesio

Cabe destacar que ambos micronutrientes no son dañinos ni tóxicos para las plantas y por esto pueden encontrarse en exceso y no ser agotados en el crecimiento biológico. Por tanto, la concentración en exceso de este micronutriente no va ligada al crecimiento desmesurado de un canal respecto al otro.

En la tabla 5.22 que se muestra a continuación se reflejan los niveles de conductividad eléctrica que presentan ambas aguas. Esta conductividad va asociada a los niveles de nutrientes presentes. Al ser la conductividad en general, será la conductividad general del agua, que viene reflejado por el conjunto de micronutrientes, por tanto saber cuánta conductividad tiene será indicador únicamente de si hay muchos o pocos micronutrientes. En la figura 5.16 se graficarán las diferencias entre ambos

Tabla 5.22. Valores de la conductividad eléctrica

Noguera Pallaresa			Ebro		
Número	Fecha	Valor	Número	Fecha	Valor
1	19/07/2007	275,0	1	26/08/2007	1118
2	30/10/2007	240,0	2	13/11/2007	1514
3	27/02/2008	243,0	3	18/02/2008	1451
4	15/05/2008	108,0	4	12/05/2008	846
5	01/08/2008	221,6	5	14/07/2008	786
6	21/08/2008	338,0	6	15/09/2008	874
7	20/11/2008	245,0	7	09/12/2008	1217
8	24/02/2009	257,0	8	17/02/2009	662
9	06/08/2009	271,0	9	25/05/2009	720
10	28/02/2013	272,0	10	31/01/2013	686
11	02/05/2013	95,00	11	18/04/2013	674
12	01/10/2013	176,0	12	26/08/2013	1412
13	13/11/2013	79,00	13	19/12/2013	1275
14	11/02/2014	215,0	14	13/03/2014	639
15	14/05/2014	114,0	15	24/06/2014	1244
16	23/09/2014	186,0	16	29/09/2014	925,0
17	18/11/2014	170,0	17	09/12/2014	1283
18	11/02/2015	223,0	18	03/03/2015	617
19	14/05/2015	92,00	19	23/06/2015	955
20	15/09/2015	218,0	20	15/09/2015	1223
21	11/11/2015	229,0	21	21/12/2015	1664

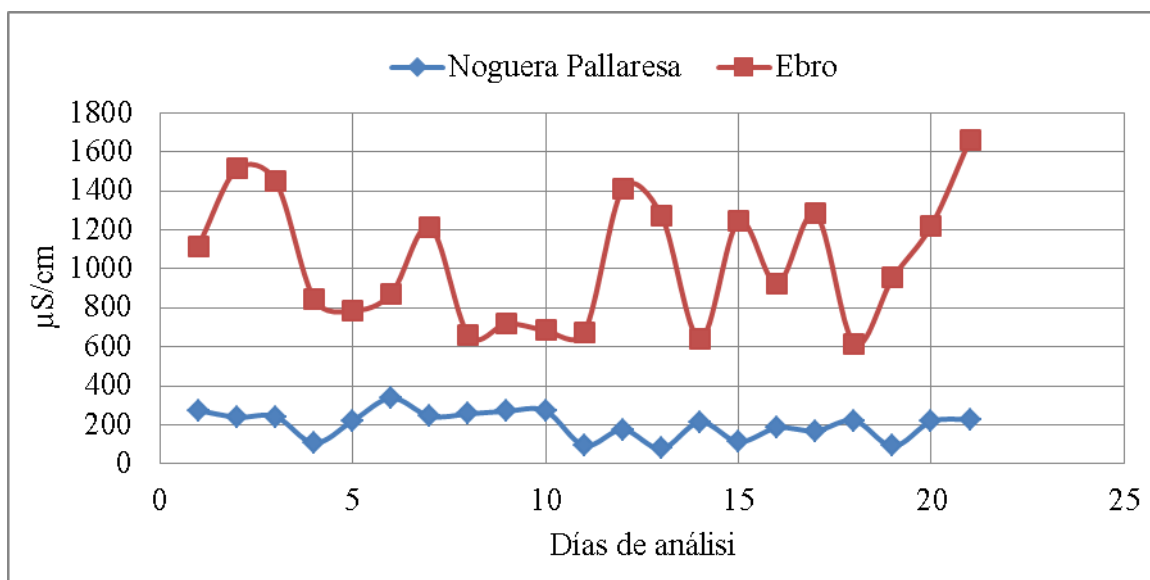


Figura 5.16. Comparativa entre las conductividades eléctricas de ambos ríos

De este gráfico podemos ver que en claramente las aguas del río Ebro son más conductoras de la electricidad que las de la Noguera Pallaresa y que por tanto tiene más cantidad o variedad de micronutrientes. La diferencia de estos micronutrientes es del orden de las micras, al comprenderse los valores en el rango que favorece el crecimiento y de no ser tóxico para las algas podemos decir que es un posible factor que favorece el crecimiento.

5.6. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado la comparación entre las aguas de los dos canales a nivel químico y biológico, por tanto a nivel de composición química y calidad del agua.

En cuanto a pH se refiere, los parámetros de ambos ríos están en la horquilla de valores muy favorables para el crecimiento de las algas. Debido a que el crecimiento en uno de los dos canales es mucho mayor que en el otro, es muestra de que los niveles de pH a pesar de ser claves en el crecimiento en sí, no son uno de los factores determinantes en la cantidad excesiva de algas.

Anteriormente se ha explicado la importancia de cada macronutriente en las funciones de las algas, como se ha visto, en general los nutrientes existentes en el río Ebro son mucho mayores que los existentes en la Noguera Pallaresa. El hecho de que la planta esté bien alimentada es sin duda alguna, muestra de un mayor crecimiento vegetal.

CAPÍTULO 6

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES Y RECOMENDACIONES

6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez vista la afectación de los distintos parámetros actuando en el crecimiento biológico y comparando los niveles de estos entre los dos canales, se requiere un análisis dónde se pueda determinar que parámetros tienen una afectación significativa en el biofouling una vez aplicado el tratamiento.

Para poder determinar los parámetros que aun aplicando el tratamiento antifouling siguen afectando, se realizará en este capítulo gráficos para cada fecha dónde se tengan datos tanto de número de algas como de datos de todos los parámetros. Una vez vistos los diferentes diagramas podremos ver cuáles son los parámetros que afectan al crecimiento de las algas una vez aplicado el mortero y que producen la gran diferencia de biofouling entre uno y otro canal después de la aplicación.

En primer lugar, se mostrarán tres tablas y gráficos dónde se pueden apreciar distintas cantidades de algas con los diferentes parámetros. El estudio se realizará con tres fechas por la falta de datos completos tanto de algas como valores de los parámetros en fechas semejantes. Estas fechas serán julio de 2008 y agosto de 2009 en la Noguera Pallaresa y agosto de 2008 en el Ebro.

Seguidamente con estos datos se podrán discriminar que parámetros que afectan al agua son importantes o no. Finalmente, se harán una serie de recomendaciones, resultado de los diferentes estudios para poder diseñar canales con menor crecimiento biológico.

6.2. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Parámetros químicos

Para la comparación entre la afección de los distintos parámetros químicos, tenemos datos coincidentes entre algas y parámetros en las fechas comentadas anteriormente, julio de 2008, agosto de 2009 en el canal de Gavet y agosto de 2008 en el río Ebro.

La comparación es posible debido a la cercanía de las fechas. Aunque no se realizaron las medidas de algas y de parámetros a la par, en esas ocasiones, la horquilla de tiempo entre ambas mediciones fue relativamente pequeña. En la siguiente tabla 6.1, se muestran los valores de cada parámetro en julio de 2008 en la Noguera Pallaresa. Estos datos quedan graficados en la figura 6.1 que se muestra justo a continuación de la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Valores de la Noguera Pallaresa en 2008

Noguera Pallaresa julio 2008		
Parámetro	Valor	Unidad
algas	402	nº de algas
Carbonatos	6,8	mg/L CO ₃ Ca
Bicarbonatos	85,8	mg/L CO ₃ Ca
Calcio	39,4	mg/L Ca
Cloruros	39,5	mg/L Cl
Conductividad a 20 °C	338	µS/cm
Demanda química de oxígeno	<10	mg/L O ₂
Fosfatos	0,1	mg/L PO ₄
Fósforo Total	0,033	mg/L P
Magnesio	3,6	mg/L Mg
Nitritos	0,03	mg/L NO ₂
Nitratos	1,3	mg/L NO ₃
Oxígeno disuelto	83,7	% sat.
pH	8,69	
Sodio	29,1	mg/L Na
Sulfatos	32,6	mg/L SO ₄
Temperatura del agua	19,1	°C

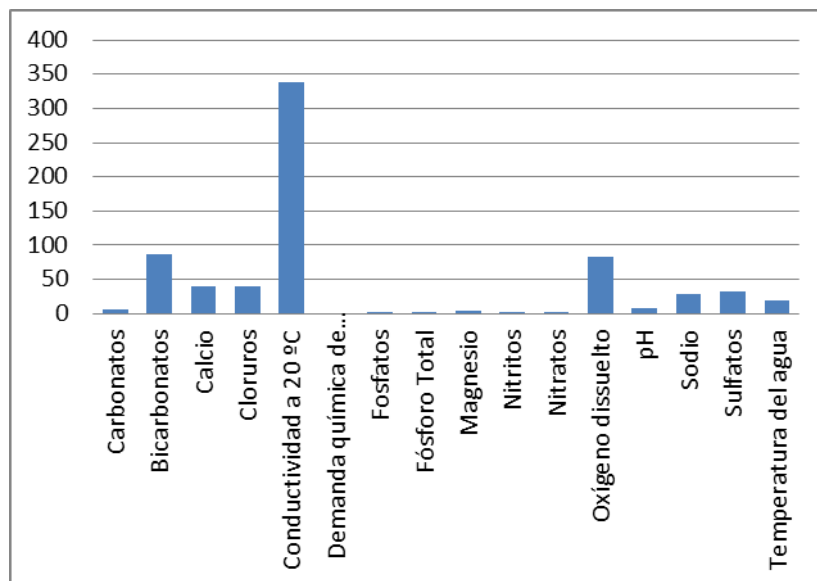


Figura 6.1. Valores de la Noguera Pallaresa en 2008 (402 algas)

En la siguiente figura se puede observar los valores de los parámetros en el caso de agosto de 2009 en la Noguera Pallaresa. Se puede ver que el número de algas en 2009 ha aumentado respecto a 2008. En la figura 6.2 se muestra el gráfico para agosto de 2009.

Tabla 6.2. Valores de la Noguera Pallaresa en 2009

Noguera Pallaresa agosto 2009		
Parámetro	Valor	Unidad
algas	489	nº de algas
Carbonatos	5	mg/L CO ₃ Ca
Bicarbonatos	49,9	mg/L CO ₃ Ca
Calcio	17	mg/L Ca
Cloruros	3,1	mg/L Cl
Conductividad a 20 °C	271	µS/cm
Demanda química de oxígeno	<10	mg/L O ₂
Fosfatos	0,15	mg/L PO ₄
Fósforo Total	0,033	mg/L P
Magnesio	2	mg/L Mg
Nitritos	0,02	mg/L NO ₂
Nitratos	5	mg/L NO ₃
Oxígeno disuelto	96,4	% sat.
pH	8,2	
Sodio	2,8	mg/L Na
Sulfatos	8,8	mg/L SO ₄
Temperatura del agua	17,6	°C

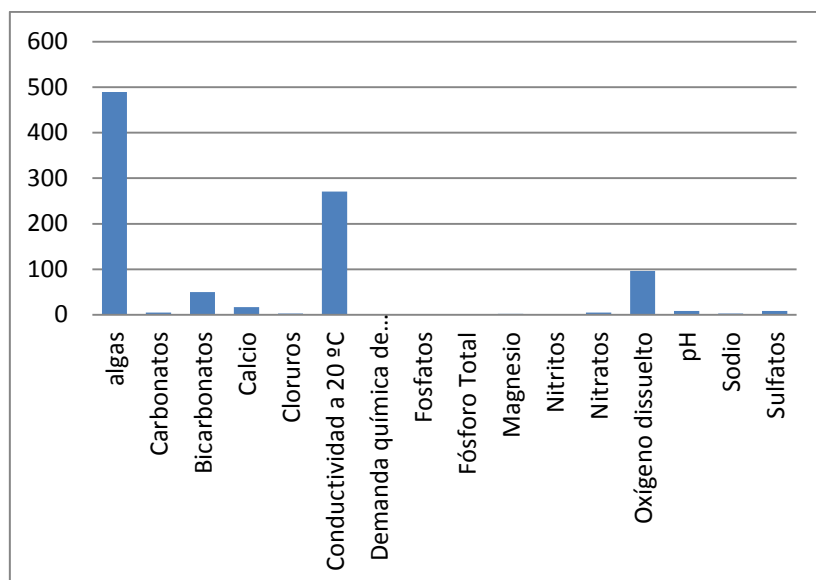


Figura 6.2. Valores de la Noguera Pallaresa en 2009 (489 algas)

En la siguiente tabla 6.3 se muestran los valores de los distintos parámetros analizados en agosto de 2008 en el Ebro. En la figura 6.3 se muestra la gráfica para estos valores.

Tabla 6.3. Valores del Ebro en 2008

Ebro 2008		
Parámetro	Valor	Unidad
algas	407	nº de algas
Carbonatos	9,3	mg/L CO ₃ Ca
Bicarbonatos	193,6	mg/L CO ₃ Ca
Calcio	108	mg/L Ca
Cloruros	93,4	mg/L Cl
Conductividad a 20 °C	786	µS/cm
Demanda química de oxígeno	10	mg/L O ₂
Fosfatos	0,05	mg/L PO ₄
Fósforo Total	0,062	mg/L P
Magnesio	21,6	mg/L Mg
Nitritos	0,03	mg/L NO ₂
Nitratos	10,3	mg/L NO ₃
Oxígeno disuelto	6,54	% sat.
pH	8,13	
Sodio	68,7	mg/L Na
Sulfatos	164,7	mg/L SO ₄
Temperatura del agua	24,1	°C

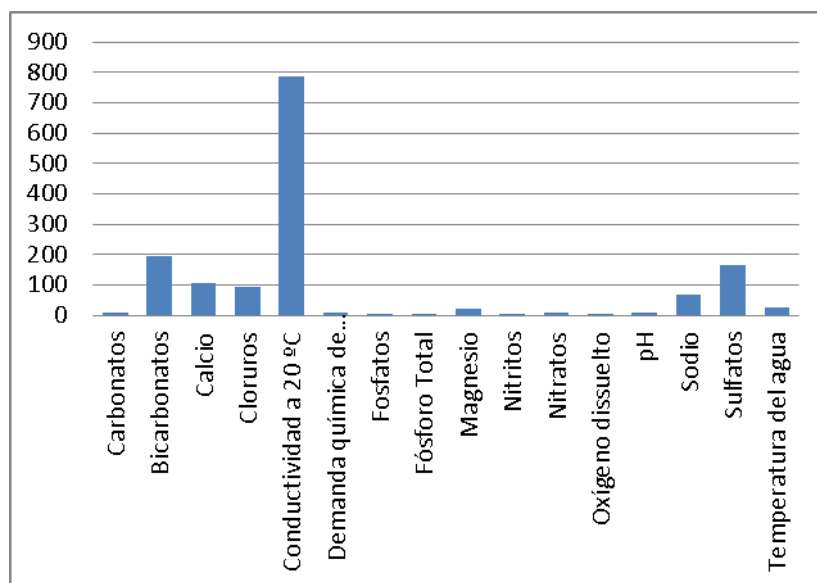


Figura 6.3. Valores del Ebro en 2008 (407 algas)

De los tres conjuntos de datos podemos observar como los niveles de algas en 2008 tanto en el canal de Gavet de la Conca como en el Ebro eran similares entre si e inferiores al nivel de algas en el año 2009 en el canal de Gavet.

A continuación se graficarán parámetro a parámetro en los tres casos, de esta forma podremos detectar los que afectan al desarrollo de las algas una vez aplicado el tratamiento. En las siguientes figuras, podremos ver estas afectaciones, a posterior se discriminaran los parámetros que no afectan sensiblemente al biofouling y se realizará una comparativa únicamente con la suma de dichos parámetros.

Debido a la similitud entre los niveles de algas entre el canal de Gavet de la Conca en 2008 y el de Amposta en 2008 y la diferencia entre estos y el canal de la de Gavet en 2009. Debido a que el crecimiento con el mortero biocida es mucho mayor en el canal de Amposta que en el canal de Gavet, se intentará ver que parámetros son mayores en las aguas del Ebro. En la siguiente tabla se muestran las cantidades de algas en los tres canales.

En la siguiente tabla se presentan los valores de algas en las fechas estudiadas. En el gráfico correspondiente a la figura 6.4 se puede ver claramente como los niveles son superiores en la Noguera Pallaresa en el año 2009 que en el resto.

Tabla 6.4. Valores de algas

Algas (nº de algas)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	402
Noguera Pallaresa 2009	489
Ebro 2008	407

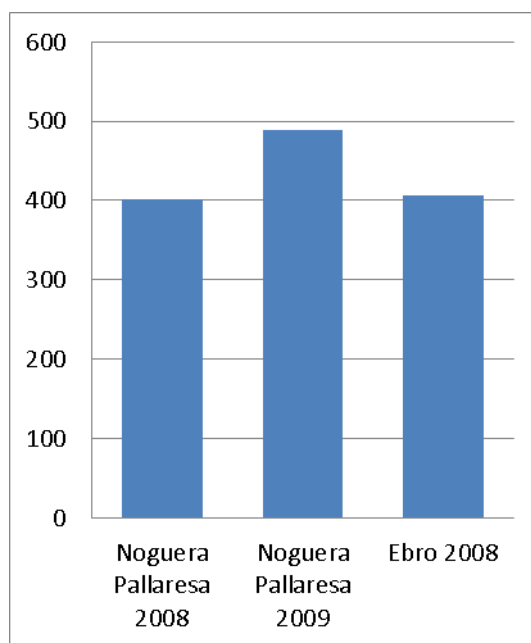


Figura 6.4. Gráfico con los valores de Algas

En la tabla 6.5 y en la figura 6.5 se pueden observar los niveles de carbonatos, valores superiores en el Ebro respecto a la Noguera Pallaresa.

Tabla 6.5. Valores de Carbonatos

Carbonatos (mg/l CO ₃ Ca)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	6,8
Noguera Pallaresa 2009	5
Ebro 2008	9,3

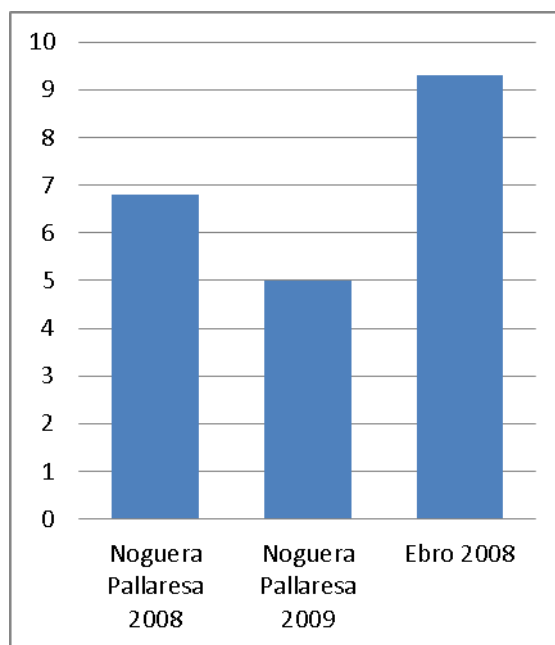


Figura 6.5. Gráfico con los valores de Carbonatos

Los niveles de carbonato, al ser superiores en el Ebro que en la Noguera y según lo comentado por *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, al ser uno de los parámetros encargados de la realización de la fotosíntesis. Debido a que cuantos más iones carbonato se encuentren en el agua, más fácil le será al alga poder realizar el proceso de fotosíntesis en fases diurnas y por tanto, tener mayor crecimiento, se considera que es uno de los factores que crea la gran variación de crecimiento biológico en los hastiales del canal una vez aplicado el tratamiento.

En la siguiente tabla y figura 6.6 se observan los niveles de bicarbonato, para este parámetro, vemos un comportamiento similar que el anterior, teniendo una mayor concentración de bicarbonatos en el Ebro que en la Noguera. Por tanto el bicarbonato será detonante del crecimiento con el tratamiento.

Tabla 6.6. Valores de Biarbonatos

Bicarbonatos (mg/l CO ₃ Ca)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	85,8
Noguera Pallaresa 2009	49,9
Ebro 2008	193,6

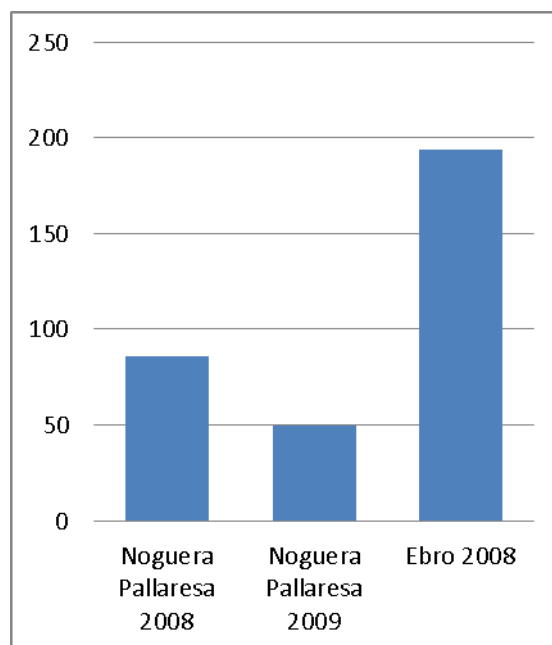


Figura 6.6. Gráfico con los valores de Biarbonatos

Igual que en los carbonatos, los bicarbonatos son aportadores de iones carbonato a la composición del agua. El hecho de tener más aportación de carbonatos en el Ebro que en la Noguera Pallaresa, facilita la realización de la fotosíntesis y por lo tanto, se considera este parámetro como influyente en la presente diferencia de crecimiento biológico en los hastiales de hormigón de los canales.

En la siguiente tabla 6.7 y su correspondiente gráfico en la figura 6.7, se muestran los niveles de calcio que tiene el agua en los distintos años y ríos. Este parámetro es claramente superior en el Ebro, por tanto también será detonante de crecimiento biológico en el hormigón.

Según *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)* y como se ha contado anteriormente, la función del calcio es la de mantener las paredes celulares unidas. Cuando la planta presenta déficit de calcio, los nuevos presentan un crecimiento distorsionado debido a la formación incorrecta de la pared celular. Por tanto, el ser el calcio superior en el Ebro se le considerará un parámetro influyente en la diferencia de crecimiento.

Tabla 6.7. Valores de Calcio

Calcio (mg/l Ca)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	39,4
Noguera Pallaresa 2009	17
Ebro 2008	108

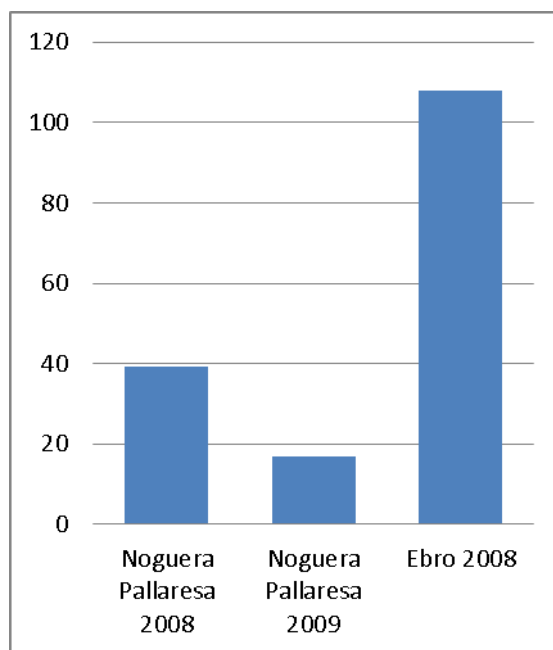


Figura 6.7. Gráfico con los valores de Calcio

En la tabla 6.8 y figura 6.8 se muestran los niveles de cloro, como puede observarse el valor en el Ebro es mucho mayor que en la Noguera, y en la Noguera Pallaresa, es mayor en el año 2008 que en el 2009.

Como se aprecia, tenemos valores de cloruros superiores en los sitios con menos algas, cosa lógica debido a que, como se ha explicado en el capítulo 5 en el apartado de la afectación de los micronutrientes, el cloro es un compuesto que en pequeñas cantidades ayuda al crecimiento biológico, pero en grandes cantidades produce el efecto contrario, siendo en dosis muy altas un potente biocida. Por tanto es normal encontrar menor crecimiento de algas en aguas con mucho cloro.

Por tanto, el hecho de que teniendo mayores concentraciones, cosa que se da en el Ebro, el crecimiento sea menor, hace que se considere que la afección que tienen los cloruros en el crecimiento de las algas, no es uno de los parámetros detonantes para la gran diferencia de crecimiento biológico entre los canales de Gavet de la Conca y de la derecha del río Ebro.

Tabla 6.8. Valores de los Cloruros

Cloruros (mg/l Cl)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	39,5
Noguera Pallaresa 2009	3,1
Ebro 2008	93,4

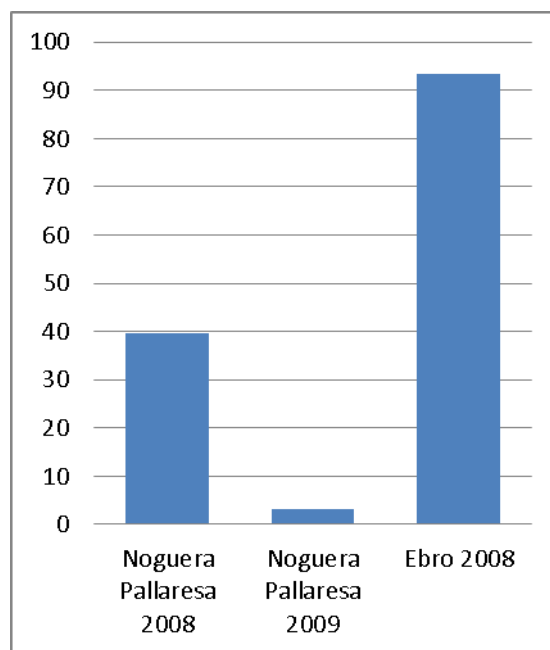


Figura 6.8. Gráfico con los valores de los Cloruros

En la siguiente tabla 6.9 se ven los valores de la conductividad a 20°C y en la correspondiente figura 6.9 queda graficado y se puede ver de forma mucho más clara que el calor de la conductividad, en el caso de las algas es mayor en 2009 que en 2008 en la Noguera y en el Ebro es muy superior a los valores en la Noguera.

En general se puede relacionar la conductividad con la cantidad en general de minerales y nutrientes que contiene el agua, ya que son estos quienes dan la conductividad eléctrica. El tener un mayor valor la conductividad hace pensar que en el Ebro existen más sales minerales que ayudan al crecimiento de algas. Se puede relacionar el hecho de tener mayores concentraciones de sales minerales con la diferencia de crecimiento en el Ebro respecto la Noguera debido a que el tener muchos más minerales, cabe la posibilidad de que se adhieran más en los hastiales aun habiéndolos recubierto con el mortero de tratamiento.

Por tanto, podemos decir que el tener valores altos de conductividad, favorece al crecimiento, y que el tener el río Ebro una concentración tan elevada, ayuda a que el tratamiento inhibitor sea menos efectivo.

Tabla 6.9. Valores de la conductividad a 20°C

Conductividad a 20°C (μS/cm)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	221,6
Noguera Pallaresa 2009	271
Ebro 2008	786

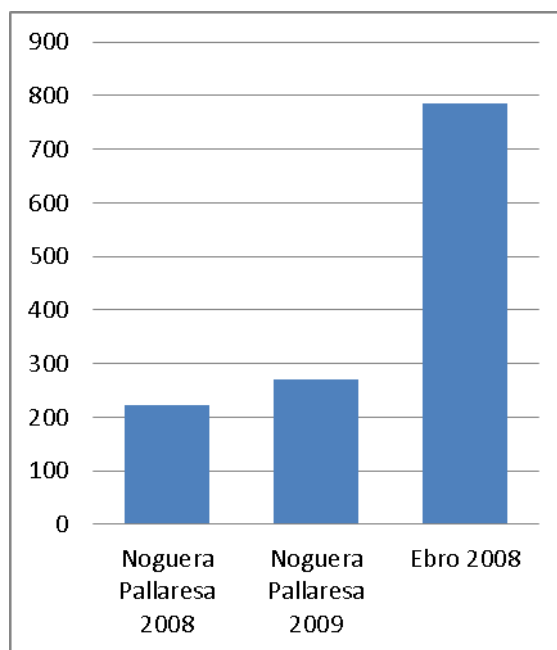


Figura 6.9. Gráfico con los valores de la conductividad a 20°C

En la siguiente tabla y figura se puede ver la demanda química de oxígeno en los ríos. Se puede observar que los valores en las fechas estudiadas, son iguales, teniendo en las tres, un valor máximo de 10 mg/LO₂.

Podemos decir que este valor no es signo de favorecer el crecimiento de algas una vez aplicado el mortero con el tratamiento inhibidor, en primer lugar, porque los valores son iguales indistintamente de la cantidad de algas que se tenga, y en segundo lugar por la naturaleza de las algas.

Cómo explica *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, las algas, gracias a la fotosíntesis, generan oxígeno. La cantidad de oxígeno que generan suele ser mayor a la cantidad que necesitan, por tanto, las algas debido a la fotosíntesis consiguen satisfacer su propia demanda de oxígeno.

Tabla 6.10. Valores de la demanda química de oxígeno

Demanda química de oxígeno (mg/l O ₂)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	10
Noguera Pallaresa 2009	10
Ebro 2008	10

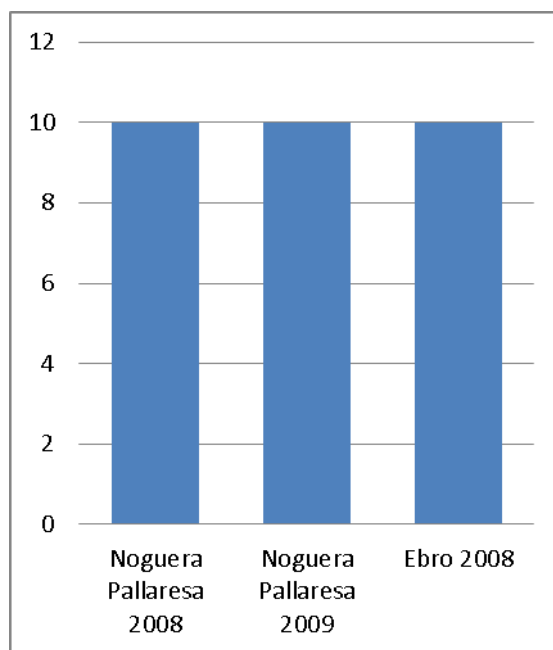


Figura 6.10. Gráfico con los valores de la demanda química de oxígeno

A continuación se muestra en la tabla 6.11 y figura 6.12 los niveles de fosfato. Como explica *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, las algas tienen la capacidad de desarrollarse a partir de niveles de PO_4^{3-} de tan solo 0,05 mg/L, y para la inhibición de su crecimiento se requieren niveles por debajo de estos.

El hecho de que las algas consigan desarrollarse tanto, con una cantidad de tan solo 0,05 mg/L y aunque es cierto que para cantidades muy superiores la afectación es mayor, la aportación de fósforo por parte de los fosfatos en ambos ríos, son muy similares y cercanos a la unidad crítica de 0,05 mg/L. Esto hace que valores ligeramente mayores no tenga una gran importancia en el desarrollo de las algas y por tanto, no contribuyen a desarrollarse de mayor forma en el río Ebro que en el río Noguera Pallaresa.

Tabla 6.11. Valores de los fosfatos

Fosfatos (mg/l PO_4)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	0,03
Noguera Pallaresa 2009	0,15
Ebro 2008	0,05

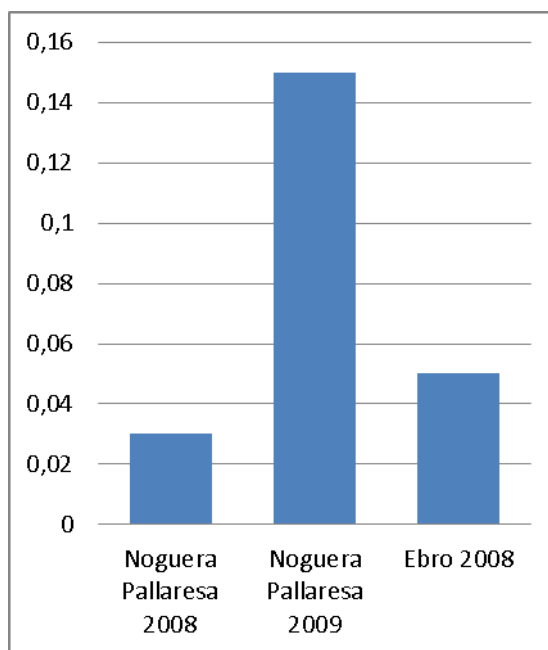


Figura 6.11. Gráfico con los valores de los fosfatos

En la siguiente tabla y figura se pueden ver los niveles de fósforo, el valor en el Ebro es mayor que en la Noguera, esto hace pensar que el tratamiento inhibidor no elimina el efecto del fósforo y este pertenece al conjunto de parámetros que crea esta diferencia de eficacia en el aditivo.

Debido a que el fósforo no es únicamente aportado por los fosfatos, la suma de todos ellos (y no teniendo gran aportación por los fosfatos) sí que es muy diferente en ambos ríos, prácticamente es del doble. Como se ha comentado, según *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, las algas tienen un mayor crecimiento con altas concentraciones de fosfato. Por tanto, el fósforo en general, sí que afecta en gran medida al desarrollo de las algas, aunque la aportación por los fosfatos sea casi despreciable.

Tabla 6.12. Valores del fósforo

Fósforo (mg/l P)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	0,033
Noguera Pallaresa 2009	0,033
Ebro 2008	0,062

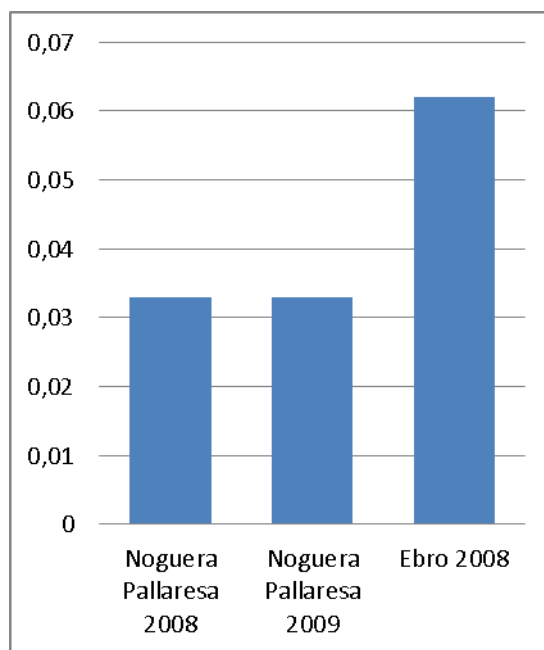


Figura 6.12. Gráfico con los valores de fósforo

A continuación se presentan en la tabla 6.13 y figura 6.13 los valores de magnesio, que igual que los valores de fósforo es mayor en el Ebro que en la Noguera,. Como se ha dicho anteriormente, de acuerdo con lo que la empresa *Promix. (2015)* el magnesio es uno de los nutrientes básicos para realizar la fotosíntesis y poder desarrollar la planta adecuadamente.

El hecho de tener una mayor concentración en el río Ebro hace que este parámetro también sea uno de los que será condicionante en el crecimiento una vez aplicado el aditivo inhibidor y por tanto, uno de los responsables de encontrar mayor crecimiento en el río Ebro que en la Noguera Pallaresa.

Tabla 6.13. Valores de magnesio

Magnesio (mg/l Mg)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	3,6
Noguera Pallaresa 2009	2
Ebro 2008	21,6

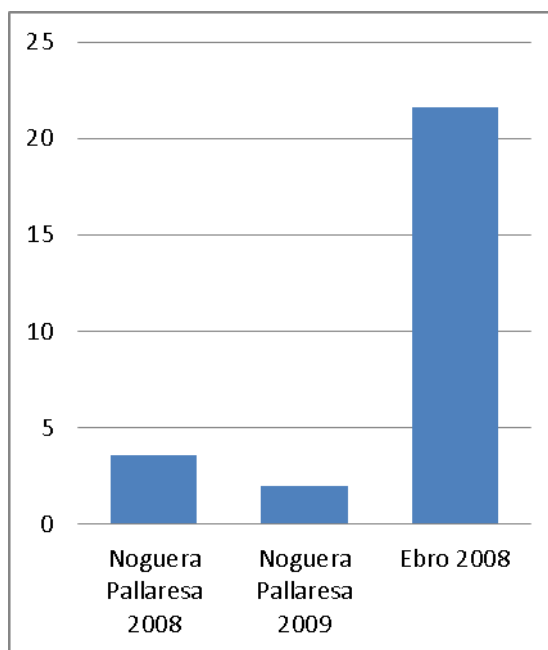


Figura 6.13. Gráfico con los valores de magnesio

En la tabla 6.14 y gráfica 6.14 se muestran los valores que presentan las aguas de los dos canales en la concentración de nitritos. En estas se puede ver que los valores son muy parecidos entre sí.

Cómo se explica en la *UAM (n.d)*, el nitrógeno, pertenece al grupo de los tres nutrientes más importantes para el desarrollo de cualquier planta. La función del nitrógeno dicho de una forma poco técnica es la de crear masa vegetal., siendo más técnicos, el papel principal del nitrógeno en el desarrollo de la planta es el de formar parte de las proteínas vegetales.

Aunque el nitrógeno sea muy importante, el hecho de la poca aportación por parte de los nitritos y de que no exista prácticamente diferencia entre aguas de ambos canales nos hace descartar el hecho de que este nutriente afecte de forma considerable al crecimiento con el aditivo inhibidor.

Tabla 6.14. Valores de nitritos

Nitritos (mg/l NO ₂)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	0,03
Noguera Pallaresa 2009	0,02
Ebro 2008	0,03

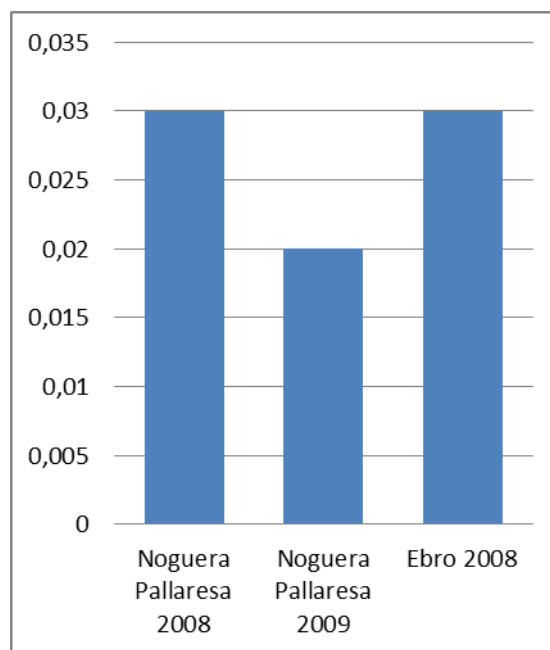


Figura 6.14. Gráfico con los valores de nitritos

En la siguiente tabla y figura correspondiente al gráfico con los valores. Se puede observar que son mayores en el Ebro que en las otras fechas de muestreo. Como se ha explicado para los nitritos, el nitrógeno aporta la masa vegetal y por tanto es muy importante en el crecimiento de las plantas.

En este caso, la aportación de nitrógeno por parte de los iones nitrato es importante (existiendo una diferencia de incluso varios ordenes de magnitud respecto a los nitritos) y siendo muy superior en el Ebro que en la Noguera Pallaresa, más del doble en el caso de mayor concentración de nitratos en el río Noguera Pallaresa.

Esta gran diferencia en la aportación de nitrógeno en los ríos, determina que este es uno de los parámetros que el tratamiento inhibitor no puede contra restar y por tanto un parámetro influyente en las diferencias de crecimiento de algas en los dos canales.

Tabla 6.15. Valores de nitratos

Nitratos (mg/l NO ₃)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	1,3
Noguera Pallaresa 2009	5
Ebro 2008	10,3

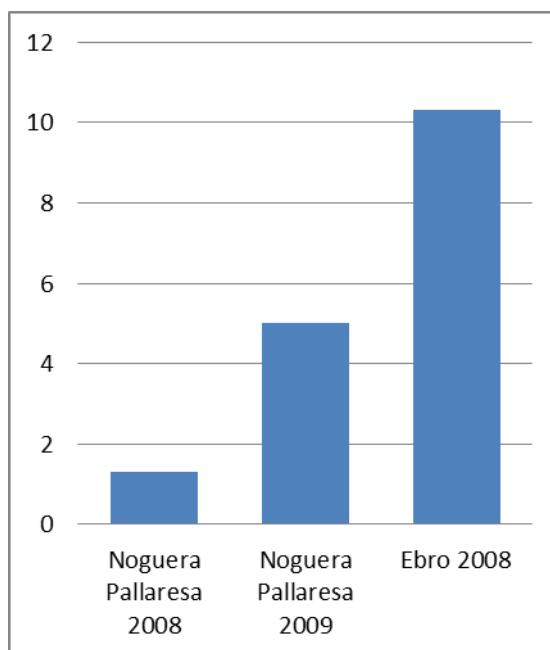


Figura 6.15. Gráfico con los valores de nitratos

En la siguiente tabla 6.16 y figura 6.16 se observa los niveles de oxígeno disuelto. Los valores de oxígeno en ambos ríos son muy parecidos. Como explica *Detlef R.U. Knappe et al. (2004)*, *Doucet, J. (2016)*, las algas, gracias a la fotosíntesis, generan oxígeno. La cantidad de oxígeno que generan suele ser mayor a la cantidad que necesitan, por tanto, las algas debido a la fotosíntesis consiguen satisfacer su propia demanda de oxígeno.

Por tanto, e igual que en el caso de la Demanda química de oxígeno, la suma del hecho que las plantas durante el día desarrollen la fotosíntesis y necesitando dióxido de carbono en lugar de oxígeno para sobrevivir y el hecho de necesitar poco oxígeno y generarlo ellas mismas, el oxígeno disuelto se considera un parámetro no influyente en la presente diferencia de crecimiento de algas en los dos canales.

Tabla 6.16. Valores del oxígeno disuelto

Oxígeno disuelto (mg/l O ₂)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	7,66
Noguera Pallaresa 2009	8,3
Ebro 2008	6,54

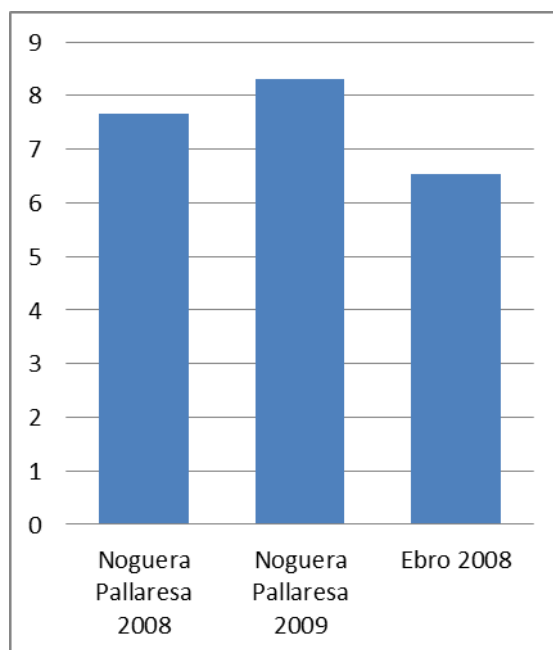


Figura 6.16. Gráfico con los valores de oxígeno disuelto

En la tabla 6.17 y el gráfico 6.17 se representan los valores de pH que presentan las aguas de los ríos. Este parámetro es sin duda importante en el desarrollo de las algas, según *Stanley (2007)*, el estar en la horquilla de valores de pH adecuada produce un buen crecimiento biológico.

Sin embargo, el mismo hecho de favorecer al crecimiento en una horquilla y estando los tres dentro de esa horquilla, hace que descartemos que el pH sea uno de los factores que produce mayor desarrollo de las algas con el tratamiento aplicado.

Tabla 6.17. Valores del pH

pH	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	8,69
Noguera Pallaresa 2009	8,23
Ebro 2008	8,13

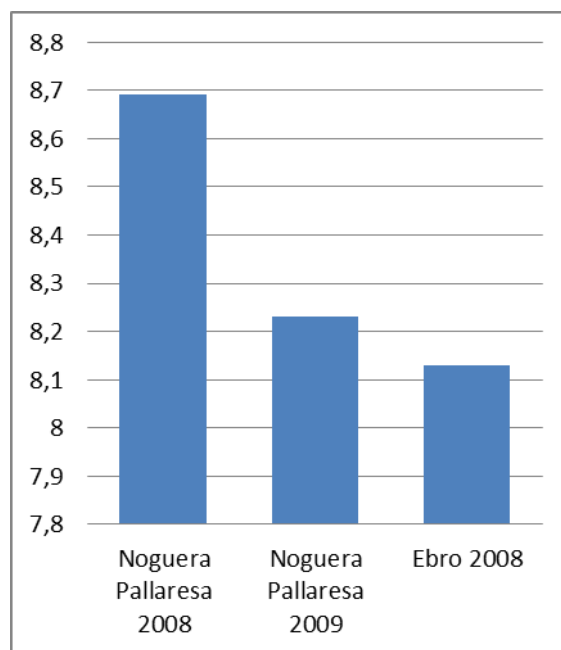


Figura 6.17. Gráfico con los valores de pH

A continuación se muestra la tabla y figura correspondientes al valor de la concentración de sodio en el agua de los canales de la derecha del Ebro y de Gavet de la conca. Se puede ver como en la Noguera es mucho mayor en la fecha de menor crecimiento y es mucho mayor en el Ebro. Por tanto, al tener una diferencia tan exagerada en las fechas de menor crecimiento respecto la de mayor crecimiento, produce que descartemos este parámetro como uno de los provocadores de la diferencia existente en el rendimiento del tratamiento inhibitor.

Tabla 6.18. Valores del sodio

Sodio (mg/l Na)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	29,1
Noguera Pallaresa 2009	2,8
Ebro 2008	68,7

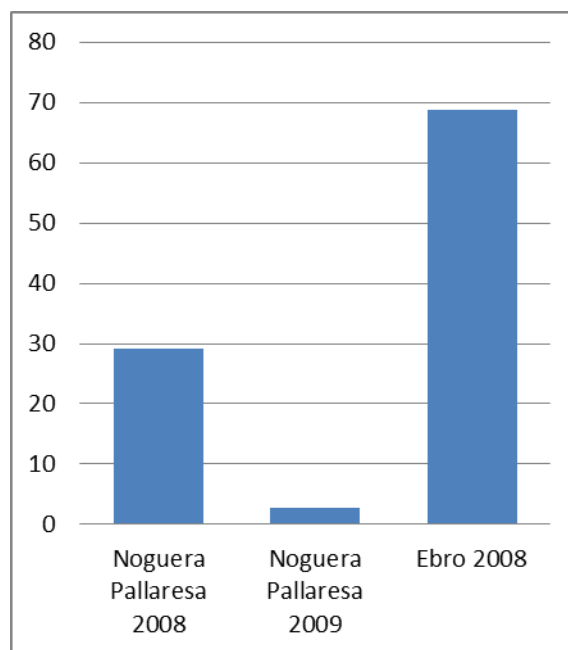


Figura 6.18. Gráfico con los valores de sodio

A continuación en la tabla y gráfico siguientes, se muestran los valores de sulfatos. En este caso se puede apreciar que tiene el mismo comportamiento que el anterior parámetro.

Según *Fernandez Sevilla, J.M. (2014)*, el azufre es importante para el desarrollo pero no hace falta grandes cantidades, mayores concentraciones de azufre no aporta mayor crecimiento.

Se puede ver como en la Noguera es mucho mayor en la fecha de menor crecimiento y es mucho mayor en el Ebro. Por tanto, entre el hecho teórico de que no con mayor cantidad de azufre crecen más algas y la evidencia de tener una diferencia tan exagerada en las fechas de menor crecimiento respecto la de mayor crecimiento, produce que descartemos este parámetro como uno de los provocadores de la diferencia existente en el rendimiento del tratamiento inhibidor.

Tabla 6.19. Valores de los sulfatos

Sulfatos (mg/l SO4)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	32,6
Noguera Pallaresa 2009	8,8
Ebro 2008	164,7

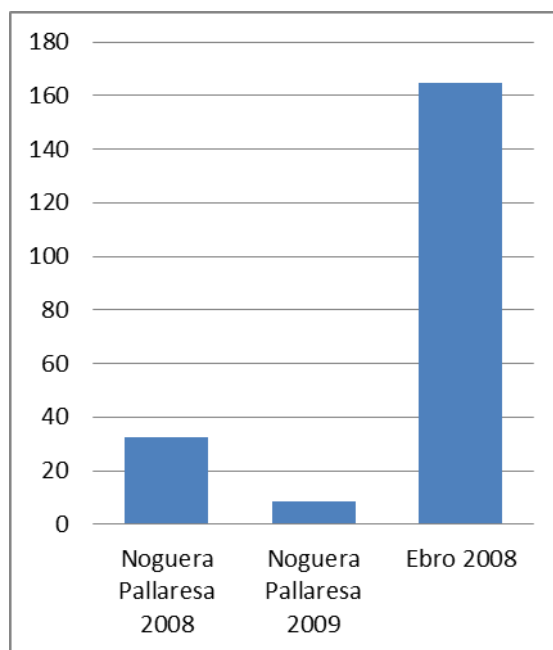


Figura 6.19. Gráfico con los valores de sulfatos

Parámetros físicos

Los parámetros físicos que podemos comparar, son los de temperatura, pendiente, velocidad y sección del canal. En cuanto al parámetro de rugosidad se refiere, no podemos tener una comparación debido a que no es un valor fijo en todo el canal y no es un valor conocido. Cabe destacar que como se ha dicho anteriormente, la rugosidad afecta a la sedimentación de los materiales y a la velocidad.

En la presente tabla 6.20 y figura 6.20 se aprecian los valores de la temperatura en los dos canales a estudiar. Como se puede ver, en el caso de la Noguera Pallaresa, los valores de temperatura del agua quedan por debajo de los 20°C y en el caso del Ebro, la temperatura esta alrededor de los 25°C.

Como se ha comentado en el apartado correspondiente, la temperatura del medio en el que se encuentra, provoca un crecimiento exponencial de las algas y las plantas cuando llegan a cierta temperatura. Los valores que hacen que la proliferación de algas sea exponencial empieza en los 25°C.

El hecho de que el río Ebro presente temperaturas cercanas en la única fecha de medición que se realizó conjuntamente con la de medición del número de algas y que en muchos casos, como se ha podido ver en el apartado correspondiente, la temperatura del agua se encuentre en la horquilla de 25°C – 35°C, hace que este parámetro sin duda, sea uno de los que provoque que el rendimiento del tratamiento inhibitor sea menor de lo esperado y menor que en el tramo de Sant Jaume d'Enveja.

Tabla 6.20. Valores de la temperatura del agua

Temperatura del agua (°C)	
Año	Valor
Noguera Pallaresa 2008	19,1
Noguera Pallaresa 2009	17,6
Ebro 2008	24,1

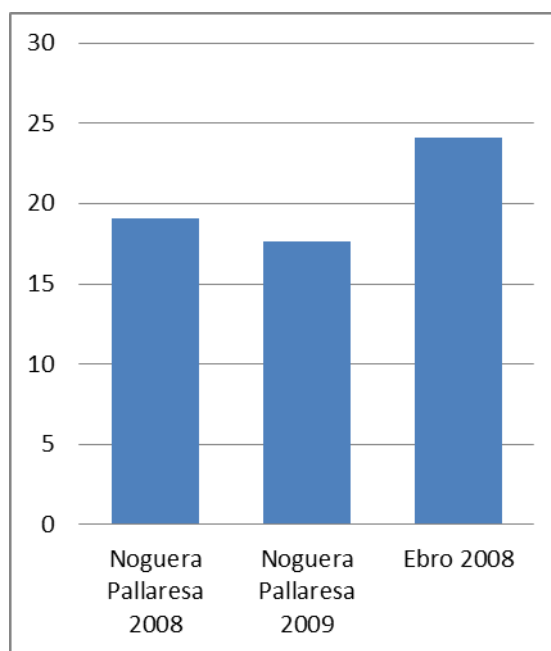


Figura 6.20. Gráfico con los valores de temperatura del agua

En el caso de la pendiente, la sección y la velocidad, son parámetros que son importantes en el crecimiento de algas y que van muy unidos. Tanto el pendiente como la sección del canal afectan a la velocidad. Para la comparación de velocidades, escogeremos el tramo entre los PK 2,480 y PK 2,700 del canal de Gavet y el tramo que tenemos del canal de la derecha del Ebro.

Dado que los canales no pueden llevar, en ningún caso, la misma altura de agua, la comparación entre velocidades se realizará con los calados mínimo y máximo de agua que puede llevar el canal.

En la siguiente Tabla 6.21 se aprecian las velocidades calculadas con la ecuación 4.2 para el valor de menor caudal en ambos canales. En la Figura 6.21 se muestra el gráfico comparativo dónde el eje vertical es la velocidad y el horizontal son los diferentes coeficientes de Manning usados. Se ve claramente que en Gavet la velocidad es mayor que en el canal de la derecha del Ebro. Esto hace que en el canal de Gavet exista menor posibilidad de sedimentación que en Amposta, debido a su mayor velocidad con el mínimo caudal.

Tabla 6.21. Valores de las velocidades con el caudal mínimo de agua

n	Velocidad (m/s)	
	Noguera Pallaresa (2,90 m)	Ebro (1,25 m)
0,012	1,85	1,36
0,013	1,71	1,26
0,014	1,59	1,17
0,015	1,48	1,09
0,016	1,39	1,02
0,017	1,31	0,96
0,018	1,24	0,91
0,019	1,17	0,86
0,02	1,11	0,82
0,021	1,06	0,78
0,022	1,01	0,75

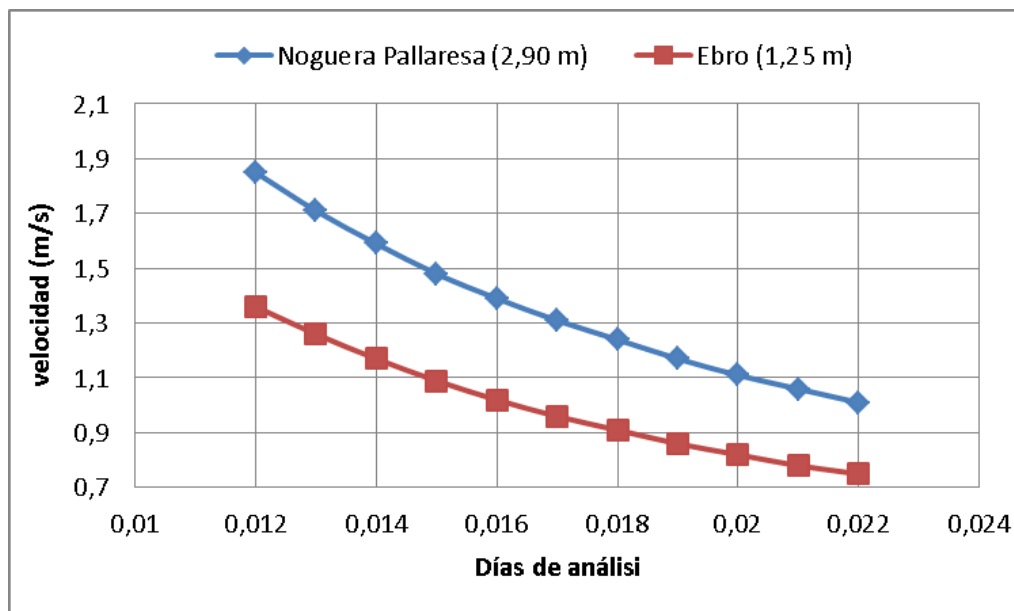


Figura 6.21. Gráfico comparativo de las velocidades con caudal mínimo

En la figura y tabla mostradas a continuación se puede observar el mismo tipo de comparación, esta vez, con el canal llevando el máximo de agua. Igual que el anterior, se puede observar que la velocidad en el canal de Gavet, es mayor que el de la derecha del Ebro, siendo más propicia la sedimentación en el canal de la derecha del Ebro.

Tabla 6.22. Valores de las velocidades con el caudal máximo de agua

n	Velocidad (m/s)	
	Noguera Pallaresa (4,35 m)	Ebro (2,40 m)
0,012	2,13	1,9
0,013	1,96	1,75
0,014	1,82	1,63
0,015	1,70	1,52
0,016	1,60	1,42
0,017	1,50	1,34
0,018	1,42	1,27
0,019	1,35	1,2
0,02	1,28	1,14
0,021	1,22	1,09
0,022	1,16	1,04

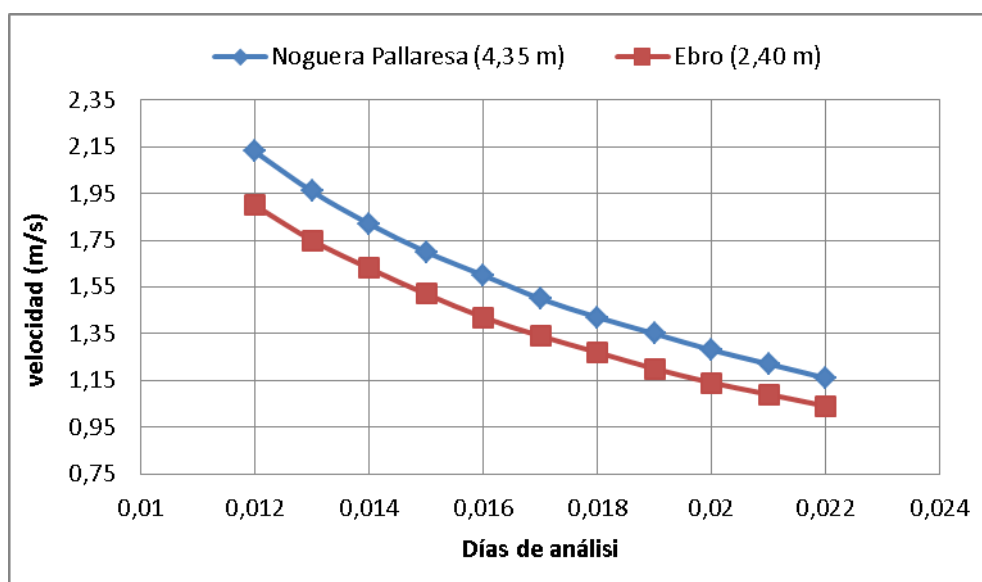


Figura 6.22. Gráfico comparativo de las velocidades con caudal máximo

En cuanto a las secciones se refiere, como se ha comentado en el capítulo 4, una sección con hastiales más horizontales, permite una mayor sedimentación de las partículas y nutrientes presentes en el agua. Como se ha visto en las figuras correspondientes a las secciones de los dos canales, en general, el canal de la derecha del Ebro, tiene hastiales más horizontales que el canal de gavet de la conca.

En las siguientes figuras, se presentan imágenes de las dos secciones, dónde se puede comprobar claramente que las paredes del canal de Gavet son más verticales que las paredes del canal de la derecha del Ebro.

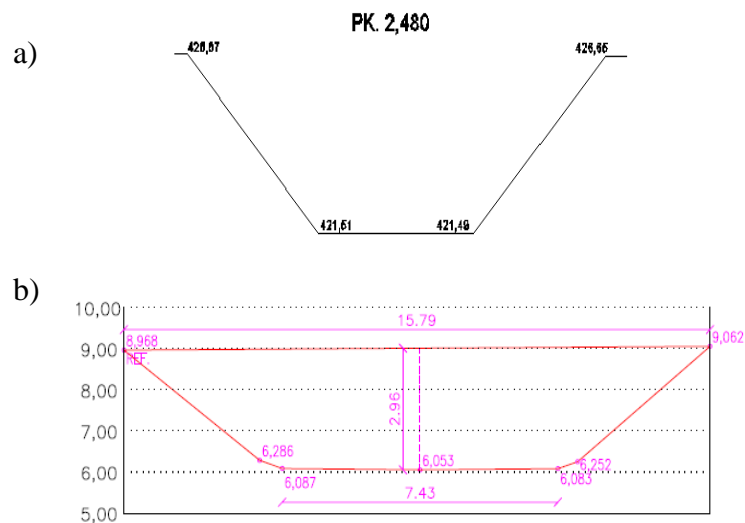


Figura 6.23. Comparación de secciones 1 a) Sección en el canal de Gavet de la Conca b) Sección en el canal de la derecha del Ebro

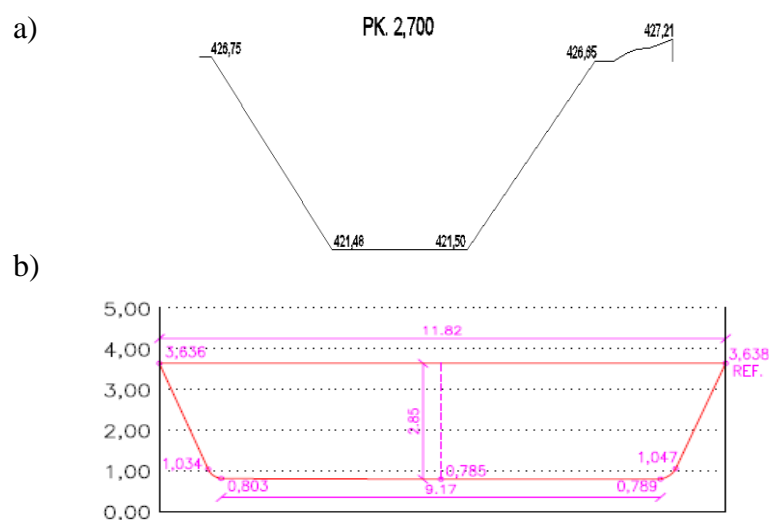


Figura 6.24. Comparación de secciones 2 a) Sección en el canal de Gavet de la Conca b) Sección en el canal de la derecha del Ebro

6.3. RECOMENDACIONES

Con todos los análisis realizados tanto de los elementos químicos presentes en el agua como de los parámetros físicos de diseño que afectan al canal, tanto en el transporte de agua como en el de sedimentos y su posterior acumulación, se darán unas recomendaciones para un diseño que presente menor crecimiento biológico.

Dado que no se puede afectar a los parámetros químicos que afectan al crecimiento de las algas en fase de diseño del canal, se darán recomendaciones de diseño.

En primer lugar, se recomienda proyectar canales con los hastiales lo más verticales posible. Como se ha comentado anteriormente, las plantas en general, y por tanto las algas, igual que todos los seres vivos, tienen tendencia a desarrollarse mejor cuanto más facilidades tengan para ello. Un hastial más horizontal da una superficie mayor para la sedimentación tanto de partículas como nutrientes y por tanto, más facilidad que un canal con hastiales verticales.

En segundo lugar, buscar una rugosidad menor en los acabados del hormigón. Los huecos creados por las rugosidades que presenta el hormigón son más sensibles a la acumulación de sedimentos aparte de hacer disminuir la velocidad del agua, esto se convierte en mayor sedimentación debido a la baja velocidad y en la mayor facilidad que se le da al alga para absorber los nutrientes.

Una superficie lisa se puede conseguir fratasando el hormigón, pero con una aplicación proyectada de mortero con aditivo inhibidor hace que, aparte de disminuir la rugosidad, se cree un sistema protector contra el crecimiento biológico. Por consiguiente, el hecho de tener menor crecimiento implica un menor mantenimiento, que normalmente se hace con tractores con brazos con púas metálicas que hace que la rugosidad aumente. Por tanto, es recomendable una aplicación de mortero con principio inhibidor para combatir todos esos factores.

Para ayudar a una menor sedimentación, es recomendable combinar una sección que se adecue al pendiente existente haciendo que la lámina de agua sea cercana al calado crítico y por tanto al régimen rápido (relacionado directamente con la velocidad).

Las velocidades recomendadas adecuadas para dificultar el crecimiento biológico están situadas en la horquilla entre los 1,5 y 2 m/s. Dichas velocidades no son suficientemente bajas como para permitir sedimentar las partículas en suspensión y no es lo suficientemente alta como para erosionar el hormigón y crear más rugosidad.

Para el caso de la temperatura, no se puede actuar directamente debido a que este parámetro es atmosférico. Pero se puede intentar disminuir la temperatura que causan los rayos solares (luminosidad) con métodos indirectos. Estos métodos consisten en cubrir el canal con mallas tipo invernadero, estas mallas oscuras porosas permiten que algo de luz se filtre a la vez que los poros hacen que el agua se filtre y por tanto no se acumule. Estas mallas pueden llegar a reducir la luminosidad hasta un 80% (*Blasi et al 2004*), con lo que se reduce la temperatura del agua.

6.4. CONCLUSIONES

En este apartado hemos vistos cuales son los parámetros que afectan más al crecimiento biológico una vez usado el tratamiento inhibitor y que hacen que el crecimiento entre los dos canales con el mismo tratamiento sea tan diferente. En la siguiente tabla 6.23 se muestra un resumen de todos los parámetros estudiados con el nivel de afectación con el crecimiento biológico.

Tabla 6.23. Tabla resumen de la afectación de los parámetros estudiados

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
Carbonato	✓	Nitratos	✓
Bicarbonato	✓	Oxígeno disuelto	✗
Calcio	✓	pH	✗
Cloruros	✗	Sodio	✗
Conductividad a 20°C	✓	Sulfatos	✗
Demanda química de oxígeno	✗	Temperatura	✓
Fosfatos	✗	velocidad	✓
Fósforo	✓	pendiente	✓
Magnesio	✓	sección	✓
Nitritos	✗		

Una vez vistos los parámetros que afectan, se ha observado que muchos de ellos son de carácter químico o atmosférico, contra estos, no se puede tratar de reducirlos. Aunque, la temperatura puede reducirse parcialmente con mallas tipo invernadero. Esta última actuación puede realizarse tanto en canales existentes como canales futuros.

Para futuros canales se han establecido unas recomendaciones para la posible disminución del crecimiento de algas. Estas recomendaciones son las siguientes:

- Proyección de hastiales verticales
- Pendientes que provoquen unas velocidades entre 1,5 y 2 m/s
- Mallas tipo invernadero en caso de altas temperaturas por luminosidad
- Secciones adecuadas y que se complementen con el pendiente para crear dichas velocidades

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente capítulo es exponer las principales conclusiones a las que se ha llegado con este trabajo de investigación y comparación de parámetros, por otro lado, hacer una reflexión sobre futuras líneas de investigación que podrían dar continuidad al trabajo. Las conclusiones se presentarán en forma de conclusiones generales y conclusiones específicas.

Las conclusiones generales vendrán dadas por el cumplimiento de los objetivos principales que han determinado y conducido el presente estudio, planteados y comentados en el capítulo 1. Estos, se han dirigido a la comparación de parámetros para poder identificar cuáles han sido causantes de la diferencia de rendimiento en el producto desarrollado por José María Vaquero (2013) y testado en dos canales por Víctor Cugat Martí (2015).

Las conclusiones específicas vendrán dadas por el cumplimiento de los objetivos específicos de los que se habla en el capítulo 1. Estos serán las conclusiones de cuáles son los parámetros tanto físicos como químicos que afectan de forma singular en la diferencia de crecimiento en los dos canales objetos de estudio.

En el último apartado se proponen unas líneas que se deberían seguir para poder evaluar los elementos y nutrientes que causan la gran diferencia de crecimiento en los

dos canales para un mayor conocimiento de cómo aplicar el producto y de posibles modificaciones que pueda tener el producto para ser un producto estandarizado para su comercialización.

7.2. CONCLUSIONES GENERALES

7.2.1. Conclusiones generales

En primer lugar, se han actualizado los resultados obtenidos por la fase experimental realizada por Víctor Cugat Martí, que aún siguen en proceso de evaluación. En el capítulo 3, se han podido observar, los resultados observados hasta la fecha de hoy, actualizando los resultados de su tesina.

Como conclusión general de este trabajo, una vez desarrollado el estudio realizado con los diferentes datos de parámetros se puede afirmar que existen diversos parámetros tanto pertenecientes a nutrientes que encontramos en el agua, como parámetros constructivos, claves en la diferencia del crecimiento biológico y que el producto inhibidor no es capaz de mitigar.

Aunque se tengan muy pocos datos coincidentes entre la cantidad de algas y la cantidad de nutrientes, mediante la comparación de éstos y con el soporte de la bibliografía obtenida referente a la afectación de los distintos parámetros estudiados en el desarrollo de las algas, se han podido identificar cuáles son los parámetros que tienen mayor afectación en el crecimiento de algas.

7.2.2. Conclusiones específicas

Con los datos obtenidos, se pueden determinar una serie de parámetros que afectan más al desarrollo de las algas, tanto parámetros pertenecientes al diseño del canal y condiciones climatológicas (parámetros físicos) como los parámetros químicos. Estos son los reflejados en la tabla 6.21 que se puede ver en el capítulo anterior y que ahora se resumirán.

Parámetros físicos

En cuanto a parámetros físicos, todos los estudiados afectan al crecimiento de las algas en los canales.

- Temperatura del agua

- Velocidad
- Rugosidad del canal
- Sección y pendiente

Parámetros químicos

- Carbonato
- Bicarbonato
- Calcio
- Conductividad a 20°C (niveles de sales minerales)
- Fósforo
- Magnesio
- Nitratos

Todos los parámetros estudiados afectan al crecimiento biológico de algas, pero estos parámetros mostrados son aquellos que crean la diferencia de crecimiento de algas en los lugares que tienen el tratamiento inhibidor aplicado.

7.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dado que en el presente estudio no se ha podido realizar una campaña experimental adecuada simulando el canal con diferentes probetas, diferentes concentraciones de los nutrientes y elementos químicos estudiados y diferentes velocidades, temperatura y sección, se proponen las siguientes líneas de investigación.

- Sería conveniente poder realizar una campaña experimental en instalaciones donde se permita variar el pendiente, sección y velocidad de un canal y poder evaluar el crecimiento en probetas con distintas concentraciones de los diferentes nutrientes que aparecen y son importantes para el desarrollo de las algas, tanto por separado como de forma conjunta.
- Es necesario evaluar el desgaste del mortero con el tratamiento inhibidor, debido a la erosión del agua para poder determinar el grosor mínimo de mortero que se debe aplicar para poder evitar el crecimiento en periodos

prolongados de tiempo, a la vez que saber el espesor para hacer coincidir la siguiente aplicación con algún vaciado del canal.

- Sería interesante probar el tratamiento inhibidor en EDAR, el alto contenido de nutrientes y la rapidez en las que salen las algas en estas instalaciones, daría resultados para conocer mejor la efectividad del aditivo.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE MONTERÍA (Colombia) (2012). Disponible en <http://www.monteria-cordoba.gov.co/Noticia.php?id=28> [Consultado 30 Mayo 2016]

Alfonse J. Jaen, M., Fernandez Gonzalez, J. (1985). Efecto de la temperatura e intensidad luminosa sobre el crecimiento y actividad fotosintética del alga CLHAMYDOMONAS REINHARDTII. Junta de energía nuclear

Almazán Gárate, J.L., A.T.H.A (n.d). Manual para la instalación de tubos de hormigón y prevención de riesgos laborales

Alum, A., Rashid, A., Mobasher, B., Abbaszadegan, M. (2008). Cement-based biocide coatings for controlling algal growth in water distribution canals. Department of Civil and Environmental Engineering and Arizona State University, National Science Foundation, Water Quality Center, Arizona State University.

Arroyo, Patricio (2011). Aminas. Propiedades e Importancia, artículo en <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-organica/aminas/> [Consultado 19 Abril 2016].

Blasi, M., Roldán, M, Hernández-Mariné M. y Salgot, M. (2004). Formación de biopelículas sobre plásticos y cemento. Universidad de Barcelona.

CANAL DE ISABEL II GESTIÓN (n.d). Disponible en <https://www.canalgestion.es/es/gestionamos/innovacion/hitos/1910.html> [Consultado 30 mayo 2016]

CEMTECH, (n.d). Disponible en <http://cemtech.mu/wp-content/uploads/2012/11/Radcon.pdf> [Consultado 30 mayo 2016]

CENTER FOR ECOLOGY & HYDROLOGY (2008). Evaluation of Barley Straw and a Commercial Probiotic for Controlling *Prymnesium parvum* in Fish Production Ponds. Centre for Aquatic Plant Management.

Chow, V.T., (1994). Hidráulica de Canales Abiertos, McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

Costerton, J.W., Cheng, K.J, Geesey, K.G., Ladd, P.I., Nickel, J.C., Dasgupta, M., Marrie, T.J. (1987). Bacterial biofilms in nature and disease. *Annu. Rev. Microbiol.*, 41, 435-64.

Cugat Martí, Víctor (2015). Estudio de la eficiencia de tratamientos inhibidores del crecimiento microbiológico para hormigones. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

De Muynck, W., De Belie, N., Verstraete, W. (2009a). Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. *Cement & Concrete Composites*, 31, 163-170.

Decho, A.W. (2000). Microbial biofilms in inertial systems: An overview. *Cont Shelf Res.* 20, 1257-1273.

DENIALINK S.L (n.d). Anti-fouling y tratamiento de aguas. Disponible en http://www.denialink.eu/anti_fouling_tratamiento_aguas.asp [Consultado 19 Abril 2016].

Detlef R.U. Knappe, R. Christopher Belk, David S. Briley, Steven R. Gandy, Neerja Rastogi, Andrew H. Rike, Howard Glasgow, Elle Hannon, William D. Frazier, Paul Kohl and Steven Pugsle (2004). Algae Detection and Removal Strategies for Drinking Water Treatment Plants.

Douet, Janet. (2016). The Effect of Algae on the pH | eHow. Disponible en: http://www.ehow.com/info_8789087_effect-algae-ph.html [Consultado 12 Abril 2016].

EL PERIÓDICO (2009). Disponible en: http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/caceres/canal-sub-niveles-cloracion-mejorar-agua_463539.html [Consultado 30 mayo 2016]

E.Manahan, Stanley . (2007). Introducción a la química ambiental

Fernandez Sevilla, J.M. (2014). Microalgal Biotechnology, Disponible en la página <http://www.ual.es/~jfernand/ProcMicro70801207/tema-1---generalidades/1-3-nutrientes.html> [Consultado 12 Abril 2016]. Universidad de Almería

French, Richard H. (1988). Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill Interamericana S.A. México.

Gaylarde, C., Ribas Silva, M., Warscheid, TH. (2003). *Microbial impact on building materials: An overview*, 36, 342-352.

Gilber, Peter, J. High, Nicola, E. Kolenbrander, Paul, and S. Handley, Pauline, (2003). Bacterial coaggregation: an integral process in the development of multi-species biofilms, Trends in Microbiology Volume 11, Issue 2, February 2003, Pages 94-100

GITS (Grupo de Investigación de Transporte de Sedimentos) (n.d), Capítulo 5 Flujo gradualmente variado. Análisis de las transiciones. Universidad Politécnica de Catalunya.

Hewayde, E., Nehdi, M., et al. (2006). Effect of geopolymer cement on microstructure, compressive strength and sulphuric acid resistance of concrete. Magazine of Concrete Research, 58 (5), 321-331.

Hewayde, E., Nehdi, M, (2007). Effect of mixture design parameters and wetting-drying cycles on resistance of concrete to sulfuric acid attack. Journal of Materials in Civil Engineering, 19(2), 155-163.

Hueck, H. J. (1968). *The biodeterioration of materials - An appraisal*. Biodeterioration of materials, Elsevier, London, 6.

Lee, R.E. (2008) . Phycology. Fourth Edition. Cambridge University Press, Cambridge.

Sanchez-Silva, M., Rosowsky, D. V. (2008) Biodeterioration of construction materials: State of the art and future challenges. Journal Material Civil Engineer, 20, 352–365.

LG SONIC (2014). CLEARWATER project. Algae control with MPC-Buoy, disponible en <http://www.lgsonic.com/es/mpc-buoy/> [Consultado 19 Abril 2016].

Márquez P., J. Fernando (2015). Mecanismos de deterioro del concreto reforzado. Universidad Francisco de Paula Santander, departamento de construcciones civiles, vías y transporte.

Mota, Antonio J. (n.d). Tema 6. Comparación de las aguas naturales. Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Granada. Disponible en: <http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema06.pdf> [Consultado 27 Mayo 2016].

Newman, Jonathan (2012). Center for Aquatic plant management disponible en <http://www.aaa.org.ar/articulos.php?articulo=articulos/240203-controlalgas01.html> [Consultado 19 Abril 2016].

Sanchez-Silva, M., Rosowsky, D. V. (2008) Biodeterioration of construction materials: State of the art and future challenges. *Journal Material Civil Engineer*, 20, 352–365.

Sand, W. (2001) Microbial corrosion and its inhibition. *Biotechnology*. H. J. Rehm. Winheim, Wiley-VCH Verlag, 10, 183–190.

Schlegel, H.G., Zaborosch, C. (1992). Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (Ecuador) (n.d). Disponible en <http://www.agua.gob.ec/en-portoviejo-secretaria-del-agua-ejecuta-segunda-fase-de-mantenimiento-a-canal-de-riego/> [Consultado 30 mayo 2016]

Sorokin, C. y Krauss, R.W. (1962) Effects of temperature and illuminance on *Chlorella*. Growth uncoupled from cell division.

Sviatoslav, K. (1978). Diseño Hidráulico

Pérez Farrás, Luis E. (2005). Teoría de la sedimentación. instituto de ingeniería sanitaria y ambiental de la Universidad de Buenos Aires.

PROMIX, (2015). La función del magnesio en el cultivo de plantas, disponible en <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/> [Consultado 17 Abril 2016].

PROYECTO RÍO HENARES, (n.d). Información sobre la Cuenca del Henares, Porcentaje de Saturación de Oxígeno disponible en <http://www.riohenares.org/index.php/rio-henares/calidad-de-las-aguas/41-porcentaje-de-saturacion-de-oxigeno.html> [Consultado 17 Abril 2016].

Ryding, S.O., Rast, W. (Eds.) (1992). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. UNESCO. PIRÁMIDE. 375 pp.

Trujillo Barzola, Alex (n.a). Energía específica y régimen crítico. Mecánica de Fluidos II. Universidad Privada TELESUP, disponible en <http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/energia-especifica-y-regimen-critico>.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (n.d). Nitrógeno, disponible en <https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/fundamentos/nutricion%20mineral/macro/nitrogeno.htm> [Consultado 17 Abril 2016].

Vaquero, J.M., González, M., Conesa, F.J., Segura, I., Calvo, M.A. (2014) Nuevos recubrimientos inhibidores del crecimiento de algas. Aplicación al Canal de Gavet. Comité nacional español de grandes empresas.

Warscheid, T., Oelting, M., Krumbein, W.E. (1991). Physical-chemical Aspects of Biodeterioration Processes on Rocks with Special Regard to Organic Pollution. *International Biodeterioration*, 28, 37–48.

Zamorano García, D.Salvador (2004), Proyecto de final de carrera. Estudio teórico-experimental de algunos tipos de resalto hidráulicos y curvas de remanso. Universidad Politécnica de Cartagena.

ANEJO I

GLOSARIO

Actinobacterias: Son un grupo de bacterias, la mayoría de ellas se encuentran en la tierra, e incluyen algunas de las más típicas formas de vida terrestre. Juegan rol muy importante en la descomposición de la materia orgánica, tales como la celulosa y quitina. Estas bacterias renuevan las reservas de nutrientes en la tierra.

Adsorber: Retener las moléculas de una sustancia fluida en la superficie de un sólido o líquido.

ATP (adenosín trifosfato): Es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular. Está formado por una base nitrogenada (adenina) unida al carbono de un azúcar de tipo pentosa, la ribosa, que en su carbono tiene enlazados tres grupos fosfato. Es la principal fuente de energía para la mayoría de las funciones celulares. Se produce durante la fotorrespiración y la respiración celular, y es consumido por muchas enzimas en la catálisis de numerosos procesos químicos. Su fórmula molecular es $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$.

Biodeterioro: Es un fenómeno complejo que implica alteraciones físico-químicas y mecánicas del material por acción de organismos biológicos. A ello hay que añadir las modificaciones del aspecto estético que se produce en los objetos afectados.

Biogénica: Procesos producidos por organismos vivos.

Biofilm o Biopelícula: Los biofilms microbianos se definen como comunidades de microorganismos que crecen adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo y embebidos en una matriz extracelular que ellos mismos han sintetizado.

Los biofilms representan la forma habitual de crecimiento de las bacterias en la naturaleza y su presencia ejerce un enorme impacto en diversos aspectos de nuestra vida, como son, el tratamiento de aguas residuales, la corrosión de materiales, la contaminación de alimentos durante su procesamiento en la industria alimentaria, el colapso de tuberías, las interacciones planta-microorganismo en la rizosfera, la formación de la placa dental, el desarrollo de infecciones crónicas sobre tejido vivo (mastitis, otitis, neumonía, infecciones urinarias, osteomielitis) o asociadas a implantes médicos, entre otros.

En el laboratorio de Biofilms microbianos estamos estudiando a nivel molecular los mecanismos utilizados por las bacterias para formar y mantener estas comunidades multicelulares, así como la influencia que la vida en biofilm tiene en el proceso infeccioso de las bacterias o en su resistencia a los antimicrobianos. (IdAB)

Carbono Orgánico Disuelto (COD o DOC por sus siglas en inglés): El COD es un componente natural de muchos ecosistemas acuáticos, tanto dulceacuícolas como marinos.

Cianobacterias: Antiguamente llamadas algas verde azuladas, son un filo del dominio Bacteria que comprende las bacterias capaces de realizar fotosíntesis oxigénica. Son los únicos procariontes que llevan a cabo ese tipo de fotosíntesis, por ello también se les llamó oxifotobacterias.

Citoplasma: Es la parte del protoplasma que, en una célula eucariota, se encuentra entre el núcleo celular y la membrana plasmática. Consiste en una dispersión coloidal muy fina de aspecto granuloso, el citosol o hialoplasma, y en una diversidad de orgánulos celulares que desempeñan diferentes funciones. Su función es albergar los orgánulos celulares y contribuir al movimiento de estos. El citosol es la sede de muchos de los procesos metabólicos que se dan en las células.

Clorofíceas: Son una división de algas verdes que incluye alrededor de 8.200 especies de organismos eucariotas en su mayoría acuáticos fotosintéticos. Están relacionadas con Charophyta (la otra división de algas verdes) y con Embryophyta (plantas terrestres) constituyendo estos tres grupos el clado Viridiplantae. Todos los grupos de este clado contienen clorofilas a y b, y almacenan las sustancias de reserva como almidón en su plastos. A veces se denominan Chlorophyta sensu stricto para diferenciarlas de Chlorophyta sensu lato (las algas verdes).

Epifitas: Es cualquier planta que crece sobre otro vegetal usándolo solamente como soporte, sin ser parásitos. Estas plantas no enraízan sobre el suelo. Sin embargo, existen

muchas especies de algas, incluyendo las marinas, que son epifitas sobre otras especies acuáticas.

Eutrofización: Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.).

Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, poseen concentraciones bajas de nutrientes, poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos.

M Margalef. R. 1991. Ecología. Ed. Omega. 951 págs. Margalef (1976)

Fouling: Es la acumulación no deseada de material en superficies sólidas de detrimento de su función. Los materiales pueden ser de carácter biológico (biofouling) o no biológico (orgánico o inorgánico). El fouling es diferenciado de otros tipos de crecimiento en superficies por interferir con la función útil de la superficie en cuestión.

Frústula: Es la pared celular dura y porosa de la capa externa de las diatomeas. La frústula está compuesta casi en su totalidad por sílice (óxido de sílice hidratado) proveniente del ácido silícico, y recubierta con una capa de materia orgánica, la cual fue referida en la temprana literatura acerca de las diatomeas como pectina, una fibra mucho más encontrada en la pared celular de las plantas. Esta capa está realmente compuesta por varios tipos de polisacáridos.

Hipoxia: Es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, con compromiso de la función de los mismos. Esta deficiencia de oxígeno puede ser debida a muchas causas. La vía que debe seguir el oxígeno hasta llegar a las células es larga y, en consecuencia, son varias las posibilidades de que no pueda ser adecuadamente aprovechado. Es en estos casos donde se puede hablar de hipoxia.

Macrófitos: Son plantas acuáticas visibles a simple vista, entre las que se encuentran plantas vasculares (cormófitos), briófitos, macroalgas (algas caráceas y de otros grupos) y cianobacterias. Dentro de los macrófitos, se puede diferenciar entre hidrófitos, que completan su ciclo biológico cuando todas sus partes se encuentran sumergidas o flotando en la superficie y helófitos, plantas anfibias con la parte inferior sumergida en el agua. (<http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=27993>)

Mucilago: Es una sustancia vegetal viscosa. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad. Los mucílagos son análogos, por su composición y sus propiedades, a las gomas, dan con el agua disoluciones viscosas o se hinchan en ellas para formar una pseudodisolución gelatinosa. Proceden de las degradaciones de la celulosa, calosa, lignina y de las materias pécticas.

Plasmalema: Es una bicapa lipídica que delimita todas las células. Es una estructura formada por dos láminas que rodean las células. Regula la entrada y salida de muchas sustancias entre el citoplasma y el medio extracelular.

Surfactante: Un surfactante es un elemento que actúa como detergente, emulsionante o humectante y que permite reducir la tensión superficial que existe en un fluido. Por lo general se trata de sustancias que ejercen influencia en la zona de contacto que se crea entre dos fases.